

П.Н. Каменев  
Е.И. Тертичник

# ВЕНТИЛЯЦИЯ



П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник

# ВЕНТИЛЯЦИЯ

2-е издание, исправленное и дополненное

*Допущено*

*Министерством образования Российской Федерации  
в качестве учебника для студентов высших учебных  
заведений, обучающихся по специальности «Теплога-  
зоснабжение и вентиляция» направления подготовки  
дипломированных специалистов «Строительство»*



Издательство Ассоциации строительных вузов  
Москва  
2011

### **Рецензенты:**

Кафедра «Теплогасоснабжение и вентиляция»  
Московского института коммунального хозяйства и строительства  
(заведующий кафедрой профессор, кандидат технических наук  
*Е. М. Авдолимов*)

Ученый секретарь ОАО «Гипрониавиапром»  
кандидат технических наук *А. В. Куприянов*

Начальник отдела «Отопление и вентиляция»  
ОАО «Гипрониавиапром» *Б. П. Кириллов*

### **Каменев П.Н., Тертичник Е.И.**

Вентиляция: Учебное пособие. Изд. 2-е, исправл. и дополн.  
– М.: Изд-во АСВ, 2011. – 632 с., 281 илл.

ISBN 978-5-93093-436-3

В книге рассмотрены теоретические основы вентиляции общественных и производственных зданий, даны рекомендации по проектированию и эксплуатации вентиляционных систем. Изложена физическая сущность явлений и процессов, связанных с вентиляцией, даны способы расчета вентиляционных систем, рекомендации по подбору оборудования. Сведения об оборудовании приведены лишь в той мере, в которой они необходимы при описании конструктивных особенностей вентиляции и использованы в расчетах вентиляционных систем.

Книга является учебником для студентов специальности «Теплогасоснабжение и вентиляция» строительных вузов. Она может быть полезной инженерам, занимающихся проектированием, монтажом, наладкой и эксплуатацией систем вентиляции в жилых, общественных и производственных зданиях.

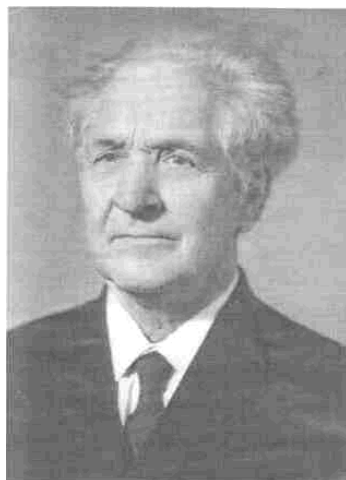
© Издательство АСВ, 2011

© Каменев П.Н.,

Тертичник Е.И., 2011

**ISBN 978-5-93093-436-3**

**Профессор  
Петр Николаевич Каменев  
(1892 – 1973)**



Профессор П.Н. Каменев является одним из отечественных ученых и инженеров, заложивших теоретические и методические основы дисциплин отопления и вентиляции. Петр Николаевич Каменев – автор неоднократно переиздававшихся учебников по вентиляции, на которых воспитывались многие поколения специалистов. Его исключительные жизненная активность, целеустремленность, трудоспособность, широта научных и инженерных интересов могут служить примером.

Петр Николаевич Каменев родился в 1892 г. в селе Пеньшитно близ г. Новосиль Тульской губернии в семье мещан. В 1907 г. окончил Ростовское-на-Дону городское пятиклассное училище и поступил в среднее техническое училище. В 1910 году его отец умер, и для продолжения учебы пришлось зарабатывать репетиторством. После окончания средне-технического училища в 1912 г. поступил на механическое отделение Харьковского Технологического института и одновременно на работу в строительную контору инж. М. К. Компонийца в качестве чертежника.

В 1916 г., являясь студентом 4 курса, устраивается на завод Ливенского акционерного общества в Лисичанске в качестве техника, впоследствии был назначен начальником строительного отдела. В 1917 г. перешел на работу в контору по устройству центрального отопления и вентиляции инж. Г. Г. Барлаха в Харькове. В 1918г. окончил институт с отличием. С 1916 по сентябрь 1931 г. проектировал и руководил монтажом сантехнических систем и систем отопления в городах Сталино и в Харьков.

В 1931 г. был приглашен на должность профессора в Московский инженерно-строительный институт (МИСИ), а в декабре того же года назначен заведующим кафедрой «Промышленная вентиляция». С этого времени трудовая деятельность П.Н. Каменева неразрывно связана с кафедрой «Отопление и вентиляция» МИСИ. Одновременно он являлся старшим научным сотрудником института «Норм и Стандартов». В феврале 1934 г. дополнительно занял должность заведующего кафедрой «Промышленная вентиляция» в Горьковском инженерно-строительном институте.

В 1934 г. ВАК утвердил П.Н. Каменева в звании и. о. профессора, а в 1935 г. присвоил ученую степень кандидата технических наук без защиты диссертации.

7 декабря 1938 г. в МИСИ им. В.В. Куйбышева П.Н. Каменев защитил докторскую диссертацию, написанную и на базе вышедшей в 1936 г. книги «Смешивание потоков», а в феврале 1939 г. ВАК СССР ему было присвоено ученое звание профессора.

Разработка теории струйных аппаратов с высоким коэффициентом полезного действия, кроме теоретического значения, имела успешное практическое применение. По проектам П. Н. Каменева были построены: гидроэлеватор на строительстве канала Москва-Волга, который перемещал до 3000 м<sup>3</sup> грунта в сутки, гидроэлеватор для выравнивания дна реки Волги, гидроэлеваторы водопроводной станции для водоснабжения г. Саратова и др.

В 1943 г. проф. П.Н. Каменев спроектировал водогрейные и паровые котлы, которые нашли широкое применение в строительной промышленности. Было изготовлено более 200 таких котлов.

В 1948 г. вышла из печати книга П.Н. Каменева «Расчет однотрубных систем водяного отопления», в которой были представлены номограммы для расчета однотрубных систем отопления и доказана большая, чем у двухтрубных систем, их гидравлическая устойчивость.

Много сил и энергии отдал П.Н. Каменев написанию неоднократно переиздававшихся учебников «Отопление и вентиляция» в двух частях, перерабатывая и дополняя их от издания к изданию.

Основные научные и методические труды:

1. Аналитический расчет сложного вентиляционного трубопровода (30 п.л.), 1929 г., Технокнига, Харьков.
2. Расчет воздухопроводов и водоструйных аппаратов (35 п. л.), 1934 г., изд-во Стандартизация и рационализация.
3. Смешивание потоков (16 п. л.), 1936 г., ГОНТИ, Москва.
4. Динамика потоков промышленной вентиляции (36 п. л.), 1938 г., Стройиздат.
5. Дополнение к книге Мойер и Фитц «Кондиционирование воздуха» (15 п. л.), 1946 г., Пищепромиздат.
6. Расчет однотрубных систем водяного отопления (22 п. л.), 1948 г., изд-во Министерства коммунального хозяйства.
7. Гидроэлеваторы и другие струйные аппараты (28 п. л.), 1950 г., Машстройиздат.
8. Отопление и вентиляция. Ч. 1-я. Отопление. Учебник под редакцией П. Н. Каменева и при его участии (22 п. л.), 1956 г., Стройиздат.
9. Отопление и вентиляция. Ч. 2-я. Вентиляция (31 п. л.), 1959 г., Стройиздат.
10. Гидроэлеваторы в строительстве. 1964 г.

Научные труды П. Н. Каменева получили признание не только в нашей стране, но и за ее пределами.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Вентиляция является одной из основных дисциплин, составляющих специальность «Теплогазоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха». Ее основу составляют общетеоретические дисциплины: «Гидравлика», «Аэродинамика», «Термодинамика и теплопередача». Дисциплина «Вентиляция» тесно связана с другими специальными техническими дисциплинами, составляющими специальность «Теплогазоснабжение и вентиляция»: «Теоретические основы создания микроклимата в помещении», «Строительная теплофизика», «Насосы, вентиляторы и компрессоры», «Теплоснабжение», «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение», «Газоснабжение», «Автоматизация и управление процессами теплогазоснабжения и вентиляции». Она включает в себя в сокращенном виде многие смежные элементы перечисленных дисциплин, а также вопросы экономики, использования вычислительной техники, производства монтажных работ, изучаемых в соответствующих курсах. Заметное место в современной вентиляции занимает информатика. Причины тому: усложнение расчетов, повышение требований к их точности, сокращение сроков выполнения проектов. Проектные работы, составление смет, выполнение чертежей, планирование работ и, в ряде случаев, представление выполненной работы заказчику в настоящее время производятся в электронной форме.

В учебнике широко использованы теоретические разработки одного из основоположников нашей специальности – профессора П. Н. Каменева и внесшего значительный вклад в развитие вентиляции и теории воздушного режима здания – профессора В. П. Титова.

При составлении учебника широко использованы материалы предыдущих учебников, составленных профессором П. Н. Каменевым, коллективом кафедры «Отопление и вентиляция» под общим руководством профессора В. Н. Богословского, а также труды основоположников дисциплины «Вентиляция»: профессоров В. В. Батурина, П. Н. Каменева, М. Ф. Бромлея и других.

Предыдущий учебник «Вентиляция», разработанный коллективом кафедры «Отопление и вентиляция» Московского инженерно – строительного института им. В. В. Куйбышева (МИСИ), вышел в свет в 1976 году. За этот период произошло возрождение рыночной экономики, что повлекло за собой глубочайшие изменения в экономике, в том числе и в области строительной индустрии. Коренным образом изменились нормативная база, соотношение в использовании отечественной и зарубежной техники. Появились новые виды вентиляционного оборудования, в некоторых случаях, не имевших аналогов в выпускавшейся в России продукции. Все это должно было найти отражение в учебнике при со-

хранении общих принципов построения учебника, разработанных проф. П. Н. Каменевым.

Как и в предыдущих редакциях, в учебнике отсутствуют подробные описания постоянно модернизирующегося вентиляционного оборудования, справочные данные или зависимости приведены в той мере, в которой они входят в расчетные методики или примеры расчетов, приведенные в учебнике.

В учебнике с учетом современного состояния теории и практики прикладной аэродинамики, вычислительной техники изложены основы расчета, проектирования, наладки и эксплуатации вентиляционных систем в жилых, общественных и производственных зданиях. Рассмотрены вопросы нормирования параметров внутреннего воздуха, свойства воздуха и процессы изменения его тепловлажностного состояния, балансы помещения по воздуху и различным видам вредных выделений. В связи с имеющей место тенденции перехода от физического к математическому моделированию повышенное внимание уделено теоретическим основам аэродинамики, струйным течениям. Предложены методики аналитического расчета аэрации однопролетных и многопролетных цехов способом последовательного приближения с применением персонального компьютера. Изложены вопросы аэродинамики вентиляционных систем, нагревания и охлаждения воздуха, конструирования приточно-вытяжной вентиляции, очистки удаляемого воздуха и защиты воздушного бассейна от загрязнения вентиляционными выбросами.

Изучение курса вентиляции предполагает хорошее усвоение материала, изучаемого ранее. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха устраиваются в самых различных зданиях и сооружениях, специалист по вентиляции должен обладать знаниями по архитектуре и строительству, учитывать особенности технологического процесса и архитектурно – планировочных решений зданий, чему также уделено внимание в курсе.

Авторы приносят благодарность профессору д.т.н. Ю. Я. Кувшинову за ценные замечания по содержанию рукописи.

Авторы выражает искреннюю признательность рецензентам – кафедре Теплогазоснабжения и вентиляции Московского института коммунального хозяйства и строительства (заведующий кафедрой, проф. к.т.н. Е. М. Авдолимов, доценты к.т.н. А. В. Китайцев и А. Т. Мелик-Аракелян), инженерам Б. П. Кириллову и А. В. Куприянову (ГИПРОНИИАВИАПРОМ) – за ценные советы и замечания, сделанные при рецензировании рукописи учебника.

## Глава 1

### САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

#### §1. Задачи вентиляции

Жизнедеятельность человека и животных, производственные процессы сопровождаются выделением теплоты, вредных газов, паров и пыли, которые с течением времени делают воздух помещения непригодным для дыхания. Обычными вредными выделениями для жилых и гражданских зданий являются тепло- и влагоизбытки, углекислый газ. В животноводческих помещениях к перечисленным вредным выделениям добавляется аммиак. Перечень вредных веществ, выделяющихся в воздух промышленных зданий, состоит из многих тысяч наименований. Среди них есть радиоактивные аэрозоли, канцерогенные вещества (сажа, аэрозоль никеля, диоксин и т.д.), пары и газы, как взрывоопасные, так и воздействующие на кожный покров и слизистые оболочки организма.

*Основной задачей вентиляции является поддержание состояния воздушной среды, благоприятной для пребывания в помещении человека и выполнения технологических процессов.*

В жилых и гражданских зданиях приоритетным является поддержание параметров воздушной среды, благоприятных для пребывания человека. В помещениях производственных зданий требование обеспечения оптимальных условий для проведения технологического процесса является определяющим и может вступать в противоречие с условиями комфортного пребывания в нем человека. Примерами тому являются хлопкопрядильные цехи ткацких фабрик, в которых поддерживается относительная влажность воздуха, близкая к 100%, холодильные камеры для хранения овощей с круглогодичной температурой 0–2°С и др.

Воздействие на человека вредных веществ, содержащихся в воздухе помещения, может вызвать заболевания, называемые «профессиональными», так как их причиной являются неблагоприятные условия на рабочих местах. Часто – это обычные заболевания (бронхит, ревматизм, астма, цирроз печени) «профессионального происхождения» которых подтверждается более частой наблюдаемостью ее у работников данного производства по сравнению с населением



данного района, поселка, города. Это могут быть и специфические заболевания, в природе не встречающиеся. К ним относится лучевая болезнь. Из профессиональных заболеваний наиболее распространены *пневмокониозы* – следствие отложения и накопления пыли в легких. Пневмокониозы различают по видам вдыхаемой пыли.

*Силикоз* возникает при вдыхании в течение длительного времени пыли, содержащей двуокись кремния. Признаком заболевания является выделение гнойной мокроты, силикоз часто является причиной заболевания туберкулезом легких.

*Асбестоз* – следствие вдыхания волокнистой асбестовой пыли. Симптомы: приступообразный кашель, резкая слабость, сероземлистая окраска кожных покровов, осложнение – рак легких.

Существуют также пневмокониозы от вдыхания цементной и пыли стекловаты.

Поэтому, *второй задачей вентиляции является борьба с профессиональными заболеваниями путем обеспечения требуемых нормами условий на рабочих местах.*

Вредные вещества, выбрасываемые в атмосферу вытяжными вентиляционными установками, загрязняют ее и служат причиной серьезного ущерба человеческому здоровью, животному и растительному миру. Борьба с этим видом загрязнений ведется путем:

- внедрения экологически чистых технологий;
- очистки вентиляционных выбросов от вредных веществ перед выбросом в атмосферу;
- рассеивания вентиляционных выбросов, содержащих некоторое остаточное количество вредных примесей таким способом, чтобы концентрация вредных веществ в приземном слое воздуха не превышала допустимых норм.

*Третья задача вентиляции – защита атмосферного воздуха от загрязнения вредными веществами, содержащимися в вентиляционных выбросах.*

## **§2. Гигиенические параметры микроклимата вентилируемого помещения**

Человеческий организм постоянно вырабатывает теплоту, которая должна отдаваться окружающей среде. В противном случае произойдет перегрев организма и ухудшение самочувствия. В особо тяжелых случаях перегрева (например, в «горячих цехах» металлургического и иных производств) может произойти так назы-

ваемый «тепловой удар», сопровождающийся потерей сознания и судорогами.

Различают три категории видов трудовой деятельности:

а) при *легком труде* полное потребление кислорода менее 0,5 л/мин, не более чем в 2 раза превышает его потребление в состоянии покоя, а полная теплопродукция организма не превышает 175 Вт. К этой категории относят сидячую работу.

б) в случае труда средней степени тяжести потребление кислорода в 2–4 раза превышает его потребление в состоянии покоя, составляя 0,5–1 л/мин, полная теплопродукция составляет 175–300 Вт. К этой категории относят немеханизованный труд, рукоделие и т.д.

в) при *тяжелом труде* полное потребление кислорода в 4–8 раз превышает его потребление в состоянии покоя, составляя 1–2 л/мин, полное производство теплоты составляет 350–700 Вт.

Отдача тепла происходит путем излучения и конвекции. Тепло та расходуется также на испарение с поверхности кожи, нагрев вдыхаемого воздуха и принимаемой пищи. В случае нормального теплообмена все вырабатываемое тепло отдается окружающей среде, система терморегуляции не испытывает напряжения и свое самочувствие человек оценивает как комфортное.

Интенсивность теплоотдачи определяется совместным действием температуры, относительной влажности и подвижности окружающего воздуха, а также температурой поверхностей ограждений помещения.

Наиболее важные сочетания параметров воздуха и окружающей среды:

- температура воздуха и окружающих поверхностей, оценивается *результатирующей температурой*;
- температура воздуха и относительная влажность воздуха, оцениваются *эффективной температурой*;
- температура воздуха, скорость воздушного потока, относительная влажность воздуха, оцениваются *эквивалентной эффективной температурой*.

Кроме того, теплоотдача организма определяется сочетаниями параметров:

- температура воздуха, окружающих поверхностей, скорость воздушного потока;
- температура воздуха, окружающих поверхностей, скорость воздушного потока, относительная влажность воздуха.

*Результирующая, эффективная, эквивалентная эффективная температуры* используются в действующих нормативно-технических документах или являются основой для выбора расчетных параметров воздушной среды помещения.

*Результирующую температуру* принято определять как среднюю арифметическую между температурой воздуха и радиационной температурой помещения

$$t_{рез} = 0,5(t_в + t_R). \quad (1.1)$$

Более точно она может быть определена по формуле:

$$t_{рез} = 0,557t_в + 0,443t_R, \quad (1.2)$$

где  $t_{рез}$ ,  $t_в$ ,  $t_R$  – соответственно, результирующая температура помещения, температура воздуха и радиационная температура помещения °С.

Понятие радиационной температуры помещения подробно рассматривалось в курсе «Строительная теплофизика».

Профессором В.Н. Богословским были предложены соотношения между температурой воздуха и радиационной температурой, соответствующие комфортному самочувствию человека при легкой работе для теплого:

$$t_R = 36 - 0,5t_в \quad (1.3)$$

и холодного:

$$t_R = 29 - 0,57t_в \quad (1.4)$$

периодов года.

Результирующую температуру помещения измеряют с помощью шарового термометра.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» предусматривает применение двух разновидностей шарового термометра:

- обычный шаровый термометр для измерения результирующей температуры; в виде зачерненной снаружи (степень черноты 0,95) полый сферы, изготовленной из меди или другого теплопроводного материала, внутри которой помещен либо стеклянный термометр, либо термоэлектрический преобразователь;

- шаровой термометр для определения «локальной асимметрии результирующей температуры», вызванной наличием в помещении

поверхностей с высокими температурами; прибор изготавливается в виде поллой сферы, у которой одна половина имеет зеркальную поверхность (степень черноты не выше 0,05), а другая – зачерненную поверхность (степень черноты не ниже 0,95).

Этот стандарт нормирует внутренний микроклимат в жилых и общественных зданиях по четырем параметрам: температуре воздуха, результирующей температуре, относительной влажности и скорости движения воздуха.

В США Американским обществом по отоплению и вентиляции (ASHRAE) были произведены многочисленные исследования самочувствия человека при различных сочетаниях температуры, относительной влажности и скорости воздуха. Опыты проводились над людьми, одетыми в обыкновенную одежду, или обнаженными до пояса. Производились опрос и регистрация мнений о самочувствии при воздействии искусственно создаваемых температуре, относительной влажности и подвижности воздуха.

Выполненные исследования явились основой учения об эквивалентных и эквивалентных эффективных температурах.

*Эффективная температура – это температура насыщенного водяными парами неподвижного воздуха, вызывающего такое же тепловое ощущение, как ненасыщенный неподвижный воздух при исследуемой температуре.*

Эквивалентная эффективная температура учитывает влияние на самочувствие человека воздушного потока определенной скорости.

*Эквивалентная эффективная температура – температура насыщенного водяными парами воздушного потока определенной скорости, который вызывает такое же тепловое ощущение, как и воздушный поток ненасыщенного воздуха.*

На рис. 1.1 представлена диаграмма эффективной и эквивалентной эффективной температуры для легко одетого человека по данным Хьюстена, Яглоу и Мюллера. На диаграмме указаны температурные шкалы по сухому и мокрому термометрам и поле эффективных температур, линии равных скоростей (изотакхи) соответствующие различным значениям скорости воздуха. Поле кривых эффективных температур имеет собственную шкалу температур по сухому термометру, которой пользуются при определении эффективных эквивалентных температур.

В табл. 1.1 приведены оценки самочувствия человека, соответствующие различным значениям эффективной температуры.

Следует отметить, что этой эффективной температуре могут отвечать бесчисленное количество комбинаций температуры и относительной влажности воздуха.

Проведем через полученную точку  $t_{\text{эфф.ект}} = 18^\circ\text{C}$  любую прямую до пересечения со шкалами температур по сухому и мокрому термометрам. Например ту же эффективную температуру имеет воздух при температурах сухого термометра  $19^\circ\text{C}$  и мокрого термометра  $16^\circ\text{C}$ . Указанные значения температур сухого и мокрого термометров имеет воздух с относительной влажностью равной  $\varphi = 74\%$ .

**Пример.** Воздух с температурой по сухому термометру  $t_{\text{сух}} = 18^\circ\text{C}$  и относительной влажностью  $\varphi = 50\%$  движется со скоростью 2 м/с. Барометрическое давление 99325 Па (745 мм рт. ст.). Определить эквивалентную эффективную температуру.

**Решение.** По  $I-d$  диаграмме (рис. 2.1) находим соответствующую температуру мокрого термометра  $t_{\text{мокр}} = 13,7^\circ\text{C}$ .

Зная параметры по сухому и мокрому термометрам проводим прямую, соединяющую  $t_{\text{сух}}$  и  $t_{\text{мокр}}$  и на ней находим точку, отвечающую скорости 2 м/с. Эта точка указывает величину эффективной эквивалентной температуры, равную  $14,7^\circ\text{C}$ .

На рис. 1.2 представлены диаграммы комфортного самочувствия по Фангеру для нормально и легко одетых людей. Комфортное самочувствие определяется для трех степеней физической активности и сочетания параметров воздушной среды: температура и скорость воздуха, радиационная температура помещения. Диаграммы позволяют выбрать расчетную подвижность воздуха в производственных помещениях с повышенной радиационной температурой на рабочем месте, расположенном вблизи нагретых поверхностей.

Исследования самочувствия путем эксперимента на людях с последующей статистической обработкой результатов опроса были трудоемким и дорогостоящим процессом, поэтому в Европе получили применение методы *кататермометрического измерения*, основанные на моделировании теплообмена человека и окружающей среды с помощью специального прибора.

*Кататермометр* представляет собой продолговатый термометр особой конструкции, резервуар которого наполняется ртутью или спиртом. При измерениях кататермометр погружают в воду с температурой  $50-70^\circ\text{C}$  и выдерживают в ней до тех пор, пока мениск спирта или ртути не достигнет верхней расширенной части термометра. Некоторые разновидности кататермометров имеют градуировку на

два значения температуры: 38 и 35°C, что соответствует средней температуре прибора во время проведения эксперимента в 36,5°C, близкой к нормальной температуре человека. После нагрева кататермометр вытирают и определяют время, за которое мениск проходит от значения шкалы «2» или 38°C до значения «1» или 35°C. Поскольку за время охлаждения термометр отдает одно и то же количество теплоты  $q$ , ее значение обычно выгравировывается на термометре. Отношение этого количества тепла  $q$  к времени охлаждения  $\tau$  и есть значение  $A$ , обозначенное словом «Ката»:

$$A = q / \tau . \quad (1.5)$$

В практике применяют три типа кататермометров: сухой, смоченный (резервуар обматывается влажной тканью) и посеребренный (резервуар кататермометра посеребрен). Все три типа, как в отдельности, так и в комбинации, используется для определения различных комплексных показателей. Например, для измерения радиационной температуры вместо шарового термометра можно применить два кататермометра: сухой и посеребренный. Радиационная температура  $t_R$  определяется по формуле:

$$t_R = 100 \sqrt{91,76 \frac{\Delta A}{\Delta C} - 273} , \quad (1.6)$$

где  $\Delta A$  – разность величин Ката сухого и посеребренного кататермометров;  $\Delta C$  – разница между коэффициентами излучения сухого и посеребренного кататермометров.

Качественная оценка теплоощущения, оцениваемого как по сухому, так и по мокрому кататермометрам, приведено в табл. 1.2.

Таблица 1.2

**Теплоощущения, оцениваемые с помощью сухого и смоченного термометров**

Теплоощущение	Значения Ката	
	сухого	смоченного
Очень жарко	3	10
Жарко	3–4	10–12
Приятно	4–6	12–18
Прохладно	6–9,5	18–20
Холодно	выше 9,5	выше 20

Измеренные значения Ката позволяют определять общую подвижность воздуха, м/с, в точке проведения эксперимента, воспользовавшись формулой Бредфорда:

$$v = \left( \frac{\frac{A}{36,5 - t_e} - 0,105}{0,508} \right)^2, \quad (1.7)$$

где  $A$  – величина Ката;  $t_e$  – температура воздуха; или формулой Вейса:

$$v = \frac{\left( \frac{A - 0,14}{0,48} \right)^2}{36,5 - t_e}. \quad (1.8)$$

Здоровье человека зависит также от содержания вредных паров, газов и пыли в воздухе помещения. Концентрация этих веществ в рабочей зоне помещений ограничивается *предельно – допустимой концентрацией* или ПДК.

**Предельно-допустимая концентрация (ПДК)** равна максимальной концентрации химического соединения, которая при ежедневном, в течение длительного времени воздействии на организм не вызывает в нем каких-либо патологических изменений или заболеваний, обнаруживаемых современными методами исследования.

Изложенные выше краткие сведения о гигиенических основах нормировании параметров внутренней среды будут полезны будущим инженерам в области теплогазоснабжения и вентиляции.

### §3. Классификация систем вентиляции

Основная цель вентиляции – поддержание допустимых условий в помещении – достигается *организацией воздухообмена*. Под воздухообменом принято понимать удаление загрязненного и подача в помещение чистого воздуха. Воздухообмен создается работой приточных и вытяжных систем. Традиционно предпочтение отдается наиболее простым, но обеспечивающим заданные условия способам вентиляции. При проектировании вентиляционных систем стремятся к уменьшению их производительности путем уменьшения поступления теплоизбытков и иных вредных выделений в воздух помещения. Несовременный технологический процесс может явиться причиной невозможности обеспече-

ния требуемых параметров воздуха в рабочей зоне средствами вентиляции.

*Вентиляционной системой* называют совокупность устройств для обработки, транспортирования, подачи или удаления воздуха.

**По назначению** системы вентиляции разделяются на *приточные и вытяжные*. *Приточные системы* подают воздух в помещение. Системы, удаляющие воздух из помещения принято называть *вытяжными*. Своим совокупным действием приточные и вытяжные системы организуют приточно-вытяжную вентиляцию помещения.

В технической литературе часто можно встретить понятие *вентиляционной установки*. Этот термин применяют к вентиляционным системам, использующим в качестве побудителя тяги вентилятор. Вентиляционной установкой называют часть вентиляционной системы, в которую не включены сеть воздухопроводов и каналов, по которым транспортируется воздух, а также устройства для подачи (воздухораспределители) и удаления воздуха (вытяжные решетки, местные отсосы). *Приточная вентиляционная установка* состоит из воздухозаборного устройства, утепленного клапана, фильтра для очистки воздуха от пыли, воздухоподогревателя и вентиляционного агрегата, состоящего из вентилятора и электродвигателя. В некоторых приточных установках фильтр может отсутствовать. *Вытяжная вентиляционная установка* включает в себя устройства для очистки вентиляционных выбросов от загрязняющих их веществ и вентиляционного агрегата. Если очистка удаляемого в атмосферу воздуха не требуется, что характерно для гражданских зданий и некоторых производственных помещений, очистное устройство отсутствует и вентустановка состоит из вентагрегата. В последнее время стали применять *приточно-вытяжные вентиляционные установки*, komponуя в одном агрегате приточную и вытяжную установки. Это стало возможным в связи с разработкой и промышленным производством панельно-каркасных приточных и вытяжных установок, конструкция которых предусматривает возможность такого совмещения. Основная причина применения приточно-вытяжных агрегатов – необходимость утилизировать теплоту удаляемого воздуха. В приточно-вытяжном агрегате часто используется общий поверхностный теплообменник, передающий теплоту удаляемого воздуха холодному приточному. Кроме того, приточно-вытяжные агрегаты требуют меньших площадей для размещения, нежели отдельные приточные и вытяжные установки.



Если вентилируется весь объем помещения или его рабочая зона при наличии рассредоточенных источников вредных выделений, вентиляцию называют *общеобменной* приточно-вытяжной вентиляцией. Удаление воздуха непосредственно от выделяющего вредные выделения оборудования или подача притока непосредственно на рабочие места или в определенную часть помещения называется *местной вентиляцией*. Местная вытяжная вентиляция более эффективна, нежели общеобменная, так как удаляет вредные выделения с большей концентрацией по сравнению с общеобменной, но более дорога, так как требует большего количества воздуховодов и устройства *местных отсосов*.

**По способу организации вентиляции помещения** различают *централизованные* и *децентрализованные* системы вентиляции. В централизованных системах вентиляции приточные и вытяжные вентиляционные установки обслуживают группу помещений или здание в целом. В случае вентиляции помещений большой площади предпочтительной может оказаться децентрализованная схема вентиляции несколькими приточно-вытяжными агрегатами. Этот способ организации вентиляции позволяет обойтись без разветвленной сети воздуховодов. Типичным вентиляционным агрегатом для такого рода вентиляции является Noval, Operating Modes LHW, описание которого дано в главе 9 учебника.

**По способу побуждения движения воздуха** системы подразделяют на *системы с механическим побуждением* (с применением вентиляторов, эжекторов и пр.) и *системы с гравитационным побуждением* (действие сил гравитации, ветра).

Воздух в вентилируемые помещения может подаваться (или удаляться) через разветвленную сеть воздуховодов, (такие системы называются *канальными*) или через проемы в ограждениях (такая вентиляция называется *бесканальной*).

В помещениях гражданских или производственных зданий устраивается *приточно-вытяжная вентиляция*.

Наиболее широко применяются канальные системы с механическим побуждением. Приточная система вентиляции с механическим побуждением может быть выполнена с *рециркуляцией*. *Рециркуляцией* называют *подмешивание удаляемого воздуха к приточному*. Рециркуляция бывает полной и частичной. Частичная рециркуляция применяется в системах обычной вентиляции в рабочее время, так как в помещение необходим приток наружного воздуха. Минимальное количество наружного воздуха не должно быть меньше сани-

тарной нормы. Применение рециркуляции позволяет экономить расход теплоты зимой.

В помещениях гражданских и производственных зданий могут быть устроены следующие системы.

**Приточно-вытяжная вентиляция приточная.** Применяется преимущественно в производственных помещениях, в которых применение рециркуляции запрещено. Причиной запрета могут являться выделение в воздух помещения токсичных паров и газов, болезнетворных бактерий и т.д. Расход теплоты на подогрев приточного воздуха максимален (рис. 1.3). Общий недостаток вентиляционных систем, особенно приточных, – низкая влажность воздуха в вентилируемых помещениях в холодный период года, часто составляющая менее 5–10%. В районах с суровым климатом и продолжительной зимой это приводит к иссушению слизистых оболочек организма и, как следствие, к кровотечениям.

**Приточно-вытяжная вентиляция с частичной рециркуляцией.** Применяется для вентиляции гражданских и производственных помещений с теплоизбытками при отсутствии выделения в воздух токсичных паров и газов, резких запахов и т.п. (рис. 1.4). Рециркуляция позволяет повторно использовать не только теплоту рециркулируемого воздуха, но и влагу. Относительная влажность воздуха помещения в холодный период года в случае применения этой схемы будет более высокой, нежели у приточных систем, что благоприятно скажется на самочувствии человека.

**Приточно-вытяжная система с полной рециркуляцией.** Применяется при работе системы вентиляции в режиме воздушного отопления в нерабочее время. Является специальным видом вентиляции, применяемой в космических кораблях, космических станциях, подводных лодках, спецсооружениях и сооружениях гражданской обороны при работе в отсечном режиме. Системы вентиляции этих сооружений оборудуются установками регенерации воздуха, позволяющими удалять из воздуха избыточное количество углекислого газа, влаги, пыли, другие вредные выделения и вводить в него недостающий кислород (рис. 1.5).

**Аварийные системы вентиляции** для одноэтажных зданий часто состоят из приточной камеры, подающей в помещение при внезапном поступлении большого количества токсичных или взрывоопасных веществ неподогретый наружный воздух. Загрязненный воздух удаляется через специальный проем в ограждении или вытяжную шахту (рис. 1.6).

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Профессор Каменев П.Н. ....	3
Предисловие.....	5
<b>Глава 1. Санитарно-гигиенические и технологические основы вентиляции</b> .....	<b>7</b>
§1. Задачи вентиляции.....	7
§2. Гигиенические параметры микроклимата вентилируемого помещения.....	8
§3. Классификация систем вентиляции .....	17
§4. Параметры наружного воздуха для расчета систем вентиляции .....	26
§5. Нормируемые параметры воздуха помещений .....	27
§6. Прочие факторы, влияющие на конструктивные решения вентиляционных систем.....	33
<b>Глава 2. Свойства воздуха и процессы изменения его тепловлажностного состояния</b> .....	<b>39</b>
§7. Свойства влажного воздуха .....	39
§8. Графический способ расчета процессов изменения тепловлажностного состояния воздуха. I-d диаграмма влажного воздуха .....	44
§9. Расчеты процессов тепловлажностной обработки воздуха в I-d диаграмме и аналитическим способом.....	51
<b>Глава 3. Сведения по теоретической аэродинамике</b> .....	<b>65</b>
§10. Основные понятия аэродинамики .....	65
§11. Уравнения аэродинамики .....	68
§12. Простейшие течения .....	72
§13. Потенциал скорости и уравнение Лапласа для трехмерных безвихревых потоков.....	79
§14. Плоские безвихревые течения, функция тока .....	80
§15. Комплексный потенциал .....	81
§16. Методы решения дифференциальных уравнений аэродинамики .....	83
<b>Глава 4. Основы аэродинамики вентиляционных воздуховодов и каналов</b> .....	<b>92</b>
§17. Виды давлений в сети воздуховодов.....	92
§18. Распределение давлений в сети вентиляционных воздуховодов, присоединенных к вентилятору .....	94
§19. Аэродинамический расчет сетей вентиляционных воздуховодов и каналов .....	97
§20. Теория смешивания потоков профессора П.Н. Каменева. Аналитическое определение коэффициентов местного сопротивления тройников .....	109
§21. Наиболее выгодные формы тройников при смешивании и разделении потоков .....	115
§22. Расчет сети вытяжных воздуховодов с наименьшими потерями давления.....	117
§23. Аэродинамический расчет вытяжных гравитационных вентиляционных систем.....	123
§24. Аэродинамический расчет воздуховодов систем вентиляции с механическим побуждением.....	132
§25. Воздуховоды равномерной раздачи и равномерного всасывания .....	135

<b>Глава 5. Приточные струи</b> .....	148
§26. Классификация приточных струй.....	148
§27. Свободные изотермические и слабо неизотермические струи .....	151
§28. Закономерности развития струй, испытывающих воздействие ограждающих конструкций зданий.....	159
§29. Воздушные фонтаны.....	165
§30. Естественные конвективные потоки над тепловыми источниками.....	171
§31. Движение воздуха вблизи вытяжных отверстий.....	174
§32. Взаимодействие воздушных потоков друг с другом .....	177
<b>Глава 6. Поступления теплоты, влаги и вредных выделений в воздух помещения</b> .....	176
§33. Основные виды вредных выделений в гражданских и производственных зданиях .....	176
§34. Поступления и потери теплоты в помещениях гражданских и производственных зданий.....	179
§35. Тепловой баланс помещения .....	201
§36. Определение поступлений теплоты и влаги с поверхности жидкости и прочих смоченных поверхностей в воздух помещения .....	202
§37. Прочие случаи поступления газов и паров в воздух помещения.....	207
§38. Взрывоопасность газов и паров.....	210
<b>Глава 7. Местные отсосы</b> .....	219
§39. Местные отсосы, классификация, минимальный объем вытяжки.....	219
§40. Перенос вредностей в турбулентном потоке навстречу направлению движения воздуха .....	222
§41. Полностью закрытые отсосы .....	224
§42. Кожухи, укрывающие тепло- и влаговыделяющее оборудование.....	230
§43. Вытяжные шкафы, витринные отсосы .....	232
§44. Вытяжные зонты, шторные завесы, всасывающие воронки .....	236
§45. Зонты-козырьки .....	241
§46. Бортовые отсосы.....	245
§47. Кольцевые отсосы.....	253
§48. Панели равномерного всасывания, мобильные и боковые отсосы.....	255
<b>Глава 8. Организация и расчет воздухообмена в помещении</b> .....	259
§49. Определение расчетного общеобменного воздухообмена и температуры притока .....	259
§50. Упрощенные способы определения воздухообмена в помещении.....	269
§51. Стратификационные явления и определение параметров удаляемого воздуха для расчета воздухообмена на основе уравнений воздушно-теплового баланса .....	270
§52. Схемы организации воздухообмена в помещениях .....	278
§53. Системы вентиляции, совмещенные с воздушным отоплением.....	284
§54. Обеспечение принятой расчетной схемы распространения струи приточного воздуха в помещении .....	287
§55. Построение в I–d диаграмме процессов изменения теплового и влажностного состояния воздуха при вентиляции помещений зданий в условиях стационарного режима работы вентиляции .....	290
§56. Нестационарный режим вентилируемого помещения.....	298

<b>Глава 9. Конструктивные элементы вентиляционных установок и систем</b> .....	301
§57. Вентиляционные каналы, сборные короба и воздуховоды .....	301
§58. Приточные камеры гражданских и производственных зданий.....	308
§59. Воздухозабор. Размещение приточных и вытяжных камер .....	316
<b>Глава 10. Воздухонагреватели</b> .....	324
§60. Воздухонагреватели, конструктивные особенности .....	324
§61. Установка воздухонагревателей .....	336
§62. Подбор воздухонагревателей .....	339
§63. Защита калориферов от замерзания .....	343
<b>Глава 11. Очистка приточного воздуха и вентиляционных выбросов от пыли и загрязнений</b> .....	348
§64. Общие положения .....	348
§65. Классификация обеспыливающих устройств и характеристики их действия .....	349
§66. Фильтры для очистки приточного воздуха .....	352
§67. Пылеуловители для очистки вентиляционных выбросов.....	359
§68. Очистка вентиляционных выбросов от вредных газов и паров .....	382
§69. Нормирование чистоты приземного слоя воздуха .....	384
§70. Расчет распространения вредных веществ вентиляционных выбросов в атмосфере .....	384
§71. Санитарно-защитные зоны промышленных предприятий .....	390
<b>Глава 12. Борьба с шумом и вибрацией вентиляционных установок</b> .....	392
§72. Источники возникновения шума .....	392
§73. Звук и шум. Физические и физиологические характеристики, единицы измерения .....	393
§74. Нормирование шумов.....	397
§75. Мероприятия по снижению поступления шума в помещения от вентиляционных установок .....	398
§76. Конструкции шумоглушителей .....	399
§77. Основные положения акустического расчета вентиляционных систем. Подбор шумоглушителей .....	404
§78. Виброизоляция вентиляционных установок.....	411
<b>Глава 13. Распределение воздуха в помещении</b> .....	415
§79. Воздухораспределители гражданских и производственных помещений .....	415
§80. Подбор воздухораспределителей.....	426
<b>Глава 14. Основы аэродинамики здания, неорганизованный воздухообмен в помещениях под действием естественных сил</b> .....	440
§81. Обтекание здания воздушным потоком.....	440
§82. Определение величины давления ветра на ограждающие конструкции, аэродинамический коэффициент здания .....	444
§83. Подобие аэродинамических процессов, автомодельность .....	447
§84. Аэродинамическая труба, гидравлический лоток, построение эпюр аэродинамических коэффициентов .....	450

§85. Внутреннее избыточное давление. Расчетное давление вытяжных систем с гравитационным побуждением .....	452
§86. Эпюры давлений в помещении и на поверхности ограждений .....	456
§87. Причины неорганизованного воздухообмена в помещениях здания .....	461
§88. Закономерности фильтрации воздуха через строительные материалы и характеристики сопротивления воздухопроницанию проемов. Последовательность расчета воздушного режима помещений .....	462
<b>Глава 15. Организованный воздухообмен в зданиях. Аэрация .....</b>	<b>466</b>
§89. Аэрация, определение, конструктивные элементы, организация воздухообмена .....	466
§90. Задачи расчета аэрации, выбор расчетного давления .....	474
§91. Расчет аэрации однопролетных цехов.....	476
§92. Расчет аэрации многопролетных цехов .....	488
<b>Глава 16. Воздушные завесы .....</b>	<b>496</b>
§93. Общие сведения .....	496
§94. Особенности плоских струй воздушных завес .....	503
§95. Расчет воздушных завес .....	511
<b>Глава 17. Воздушное душирование рабочих мест .....</b>	<b>517</b>
§96. Общие положения. Конструкции душирующих патрубков .....	517
§97. Расчет воздушных душей .....	524
<b>Глава 18. Аварийная и противодымная вентиляция .....</b>	<b>530</b>
§98. Организация аварийной вентиляции в производственных помещениях .....	530
§99. Определение некоторых параметров аварийной вентиляции на основе закономерностей нестационарного режима вентилируемого помещения.....	532
§100. Вытяжная противодымная вентиляция .....	537
§101. Приточная противодымная вентиляция .....	541
<b>Глава 19. Пневматический транспорт дисперсных материалов, аспирационные вытяжные системы .....</b>	<b>543</b>
§102. Определение, классификация, схемы систем пневматического транспорта .....	543
§103. Основные определения и закономерности, используемые в теории и практике расчетов пневмотранспортных и аспирационных систем .....	544
§104. Межцеховые системы пневматического транспорта .....	553
§105. Элементы систем пневмотранспорта .....	556
§106. Внутрицеховые системы пневматического транспорта и аспирационные системы.....	562
§107. Особенности расчета систем пневмотранспорта и аспирации .....	566
§108. Системы пневмотранспорта древесных отходов с переменным расходом воздуха .....	572
<b>Глава 20. Пути экономии теплоты и электроэнергии системами вентиляции .....</b>	<b>589</b>
§109. Утилизация теплоты вытяжного воздуха в системах вентиляции.....	589
§110. Расчет рекуперативной системы утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем .....	594
§111. Восстановительная вентиляция .....	599

<b>Глава 21. Пусконаладочные работы и эксплуатация систем вентиляции</b> .....	604
§112. Основные положения.....	604
§113. Приборы технического контроля работы систем вентиляции .....	610
§114. Эксплуатация вентиляционных систем.....	616
§115. Применение персональных компьютеров в практике проектирования вентиляции .....	618
Список литературы.....	624

Учебное издание

**Петр Николаевич Каменев**  
**Евгений Иванович Тертичник**

# ВЕНТИЛЯЦИЯ

Корректор: *А.С. Жиликова*  
Компьютерная верстка: *В.Ю. Алексеев*  
Компьют. дизайн обложки: *Н.С. Кузнецова*

Диапозитивы предоставлены издательством

Подписано в печать 25.05.2011. Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага газетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.  
Усл. 39,5 печ. л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)  
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации: оф. 511  
тел., факс: (499) 183-56-83  
**http://www.iasv.ru, e-mail: iasv@mgsu.ru**