

В. К. ПЫЖОВ, Н. Н. СМЕРНОВ



СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И ОТОПЛЕНИЯ



«Инфра-Инженерия»

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА»

В. К. ПЫЖОВ, Н. Н. СМИРНОВ

СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И ОТОПЛЕНИЯ

УЧЕБНИК

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2019

УДК 697
ББК 38.762
П94

Научный редактор:
д-р техн. наук, проф. *А. К. Соколов*

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент *А. В. Коновалов*

Пыжов, В. К., Смирнов, Н. Н.

П94 Системы кондиционирования, вентиляции и отопления :
учебник / В. К. Пыжов, Н. Н. Смирнов ; ИГЭУ. – Москва ; Волог-
да : Инфра-Инженерия, 2019. – 528 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0345-0

Рассмотрены системы создания технологического и комфортного микроклимата (системы кондиционирования, вентиляции и отопления) с учетом принципов энергосбережения. Большое внимание обращается на обоснованное принятие параметров воздуха в помещениях различного назначения и на теплозащитные свойства ограждающих конструкций этих помещений. Даны рекомендации и примеры выбора оборудования для поддержания необходимого микроклимата с учетом действующих нормативных документов и разработок авторов.

Рекомендуется для студентов энергетических, технологических и строительных специальностей, а также для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, эксплуатацией, реконструкцией и наладкой систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

УДК 697
ББК 38.762

ISBN 978-5-9729-0345-0

© В. К. Пыжов, Н. Н. Смирнов, 2019
© ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина», 2019
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2019
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2019

СОДЕРЖАНИЕ	
ВВЕДЕНИЕ	9
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА	12
1.1 САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ В ПОМЕЩЕНИЯХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	12
1.2 КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ.....	15
1.3 ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ.....	16
1.4 ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА НА ТЕПЛООБМЕН ЧЕЛОВЕКА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ.....	18
1.5 ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУХА.....	20
1.6 СВОЙСТВА ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА	28
1.6.1 <i>Физические параметры влажного воздуха</i>	28
1.6.2 <i>h-d диаграмма влажного воздуха</i>	36
1.7 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА.....	42
1.7.1 <i>Измерение температуры</i>	42
1.7.2 <i>Определение относительной влажности</i>	42
1.7.3 <i>Измерение скорости воздуха</i>	46
1.7.4 <i>Определение содержания паров, газов и пыли</i>	49
1.8 ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	50
2 НОРМИРОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННЕГО И НАРУЖНОГО ВОЗДУХА	51
2.1 НОРМИРОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА.....	51
2.1.1 <i>Общие положения</i>	51
2.1.2 <i>Расчетные метеорологические параметры внутреннего воздуха</i> ..	65
2.2 ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЗАДАННОГО КЛИМАТА.....	66
2.3 НОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА.....	69
2.4 ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	71
3 БАЛАНС ПОМЕЩЕНИЙ ПО ВРЕДНОСТЯМ	73
3.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ВРЕДНОСТЕЙ ПОМЕЩЕНИЙ.....	73

СОДЕРЖАНИЕ

3.2 БАЛАНС ПОМЕЩЕНИЙ ПО ТЕПЛОТЕ.....	73
3.2.1 Общие положения.....	73
3.2.2 Потери теплоты через наружные ограждающие конструкции (основные и добавочные).....	74
3.2.3 Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций.....	77
3.2.4 Расчет ограждающих конструкций «теплых» чердаков.....	89
3.2.5 Расчет ограждающих конструкций «теплых» подвалов.....	92
3.2.6 Требования к светопрозрачным ограждающим конструкциям.....	94
3.2.7 Потери теплоты через ограждающие конструкции остекленных лоджий и балконов.....	95
3.2.8 Потери теплоты на нагревание наружного воздуха при инфильтрации его через наружные ограждения.....	95
3.2.9 Расход теплоты на нагревание воздуха механической приточной вентиляции и кондиционирования.....	104
3.2.10 Поступление теплоты в помещения здания.....	105
3.2.11 Тепловыделения от электродвигателей.....	106
3.2.12 Тепловыделения от установленных в помещении электродвигателей и приводимого ими в действие оборудования.....	107
3.2.13 Тепловыделения от нагретого оборудования и материалов.....	108
3.2.14 Тепловыделения от искусственного освещения.....	108
3.2.15 Тепловыделения от бытовых электрических приборов.....	110
3.2.16 Поступление теплоты от людей.....	110
3.2.17 Поступление теплоты с инфильтрующимся воздухом в теплый период года.....	111
3.2.18 Поступление теплоты через внутренние ограждающие конструкции смежных помещений.....	112
3.2.19 Поступление теплоты от солнечной радиации в теплый и холодный периоды года.....	112
3.2.20 Расчетный показатель компактности.....	122
3.2.21 Расход тепловой энергии на поддержание микроклимата за холодный (отопительный) период.....	123
3.2.22 Удельные расходы теплоты на обеспечение заданной комфортности.....	124
3.2.23 Класс энергетической эффективности.....	128
3.3 БАЛАНС ПОМЕЩЕНИЙ ПО ВЛАГЕ.....	129
3.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗО- И ПАРОВЫДЕЛЕНИЙ.....	132
3.5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫДЕЛЕНИЙ ПЫЛИ.....	143
3.6 ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	144
4 ТРЕБОВАНИЯ К ОГРАЖДАЮЩИМ КОНСТРУКЦИЯМ ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	145
4.1 СОСТАВ И ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ..	145
4.2 ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕНЕРАЛЬНЫХ ПЛАНОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	146

4.3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ.....	146
4.4 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЗДАНИЯМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	151
4.5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ.....	152
4.5.1 Стены и перегородки.....	152
4.5.2 Светопрозрачные ограждения (окна и фонари).....	157
4.5.3 Двери. Ворота. Проезды.....	159
4.5.4 Покрытие зданий.....	161
4.5.5 Междуетажные перекрытия зданий.....	165
4.5.6 Полы.....	166
4.6 ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	168
5 ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУХООБМЕНА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА И ПАРАМЕТРОВ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА.....	169
5.1 ВЫБОР СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА.....	169
5.1.1 Общие положения.....	169
5.1.2 Классификация струй.....	169
5.1.3 Выбор схемы вентиляции.....	174
5.2 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ И ИНТЕГРАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЯ ВОЗДУХООБМЕНА.....	177
5.2.1 Дифференциальное уравнение воздухообмена.....	177
5.2.2 Интегральное уравнение воздухообмена.....	177
5.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО ВОЗДУХООБМЕНА ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ВРЕДНОСТЕЙ.....	179
5.3.1 Определение воздухообмена при поглощении паров, газов и пыли.....	179
5.3.2 Определение расчетного воздухообмена при поглощении вредностей одно- и разнонаправленного действия.....	179
5.3.3 Определение расхода приточного воздуха при избытках и недостатках явной теплоты.....	180
5.3.4 Определение расхода приточного воздуха при избытках или недостатках явной и скрытой теплоты. Определение параметров приточного воздуха с использованием понятия «угловой коэффициент процесса ε ».....	182
5.3.5 Кратность воздухообмена.....	193
5.3.6 Применение искусственного увлажнения в рабочей зоне («доувлажнение»).....	194
5.3.7 Определение требуемого расхода приточного воздуха и его параметров в холодный период года.....	196
5.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ВОЗДУХООБМЕНА. УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА.....	199
5.5 ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	200

СОДЕРЖАНИЕ

6 КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА.....	201
6.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	201
6.2 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА.....	201
6.3 ТЕПЛОВАЯ СХЕМА КОНДИЦИОНЕРА.....	203
6.4 ПРОЦЕССЫ В ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ КОНДИЦИОНЕРА.....	204
6.4.1 <i>Процессы в поверхностных воздушонагревателях.....</i>	<i>204</i>
6.4.2 <i>Процессы в поверхностном воздухоохладителе.....</i>	<i>206</i>
6.4.3 <i>Процессы в утилизаторах теплоты.....</i>	<i>207</i>
6.4.4 <i>Процесс смешения воздуха двух состояний в приемной секции.....</i>	<i>210</i>
6.4.5 <i>Обработка воздуха водой в секциях орошения.....</i>	<i>213</i>
6.5 ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА В КОНДИЦИОНЕРАХ.....	222
6.5.1 <i>Общие положения.....</i>	<i>222</i>
6.5.2 <i>Построение процессов в теплый период года.....</i>	<i>222</i>
6.5.3 <i>Построение процессов обработки воздуха в кондиционерах в холодный период года.....</i>	<i>228</i>
6.6 ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	233
7.СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	234
7.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	234
7.2 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	239
7.3 ОБЩЕОБМЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ.....	241
7.3.1 <i>Механическая общеобменная вентиляция.....</i>	<i>241</i>
7.3.2 <i>Аэрация промышленных зданий.....</i>	<i>241</i>
7.4 СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	252
7.4.1 <i>Местная вытяжная вентиляция.....</i>	<i>252</i>
7.4.2 <i>Воздушные души.....</i>	<i>257</i>
7.4.3 <i>Воздушные завесы.....</i>	<i>262</i>
7.5 КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	271
7.5.1 <i>Элементы систем воздушораспределения и воздухоудаления.....</i>	<i>271</i>
7.5.2 <i>Устройства для забора и удаления воздуха.....</i>	<i>271</i>
7.5.3 <i>Воздуховоды приточных и вытяжных систем.....</i>	<i>272</i>
7.5.4 <i>Воздухораспределители.....</i>	<i>280</i>
7.5.5 <i>Приточные камеры.....</i>	<i>281</i>
7.6 <i>АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОЗДУХОВОДОВ.....</i>	<i>283</i>
7.7 ОЧИСТКА ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ.....	290
7.7.1 <i>Очистка наружного и рециркуляционного воздуха.....</i>	<i>290</i>
7.7.2 <i>Очистка вентиляционных выбросов.....</i>	<i>295</i>
7.7.3 <i>Очистка воздуха от вредных паров и газов.....</i>	<i>299</i>

7.8 ИСТОЧНИКИ ШУМА В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ШУМА.....	299
7.8.1 Общие сведения о шуме.....	299
7.8.2 Измерение параметров шума.....	300
7.8.3 Нормируемые параметры шума.....	302
7.8.4 Требуемое снижение уровней шума.....	309
7.8.5 Звукоизоляция ограждающих конструкций зданий.....	311
7.8.6 Рекомендации по обеспечению нормативной звукоизоляции ограждающих конструкций.....	314
7.8.7 Элементы ограждающих конструкций, связанные инженерным оборудованием.....	317
7.8.8 Рекомендации по звукоизоляции ограждающих конструкций кабин дистанционного управления, укрытий и кожухов.....	318
7.8.9 Звукопоглощающие конструкции.....	320
7.8.10 Инженерное оборудование зданий.....	322
7.8.11 Мероприятия по снижению шума в системах вентиляции и кондиционирования.....	327
7.9 ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	332
8 СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ.....	333
8.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОТОПЛЕНИИ.....	333
8.1.1 Тепловая нагрузка систем отопления.....	333
8.1.2 Требования к системам отопления.....	334
8.1.3 Классификация систем отопления.....	335
8.1.4 Основные характеристики теплоносителей.....	336
8.2 ВОДЯНОЕ ОТОПЛЕНИЕ.....	337
8.2.1 Классификация систем водяного отопления.....	337
8.2.2 Системы водяного отопления с искусственной циркуляцией.....	341
8.2.3 Двухтрубные системы водяного отопления.....	344
8.2.4 Однотрубные системы водяного отопления.....	345
8.2.5 Горизонтальные системы водяного отопления.....	346
8.2.6 Гидравлический расчет систем водяного отопления.....	347
8.3 ПАРОВОЕ ОТОПЛЕНИЕ.....	354
8.3.1 Системы парового отопления.....	354
8.3.2 Гидравлический расчет систем парового отопления.....	358
8.4 ВОЗДУШНОЕ ОТОПЛЕНИЕ.....	359
8.4.1 Системы воздушного отопления.....	359
8.5 ПАНЕЛЬНО-ЛУЧИСТОЕ ОТОПЛЕНИЕ.....	363
8.6 ОТОПИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ.....	366
8.6.1 Виды отопительных приборов.....	366
8.6.2 Выбор и размещение отопительных приборов.....	366
8.6.3 Теплопередача отопительных приборов.....	369
8.6.4 Расчетная температура теплоносителя воды в отопительных приборах.....	372

СОДЕРЖАНИЕ

8.6.5 Тепловой расчет отопительных приборов.....	375
8.7 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОТОПЛЕНИЕ. ИНФРАКРАСНЫЙ ОБОГРЕВ.....	377
8.7.1 Классификация и область применения систем электрического отопления.....	377
8.8 ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ С ПОМОЩЬЮ ГАЗОВЫХ ИНФРАКРАСНЫХ И ВОЗДУШНЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ.....	383
8.1 Общие положения.....	383
8.8.2 Основные понятия и определения.....	384
8.8.3 Конструктивные особенности газовых инфракрасных и воздушных нагревателей.....	385
8.8.4 Помещения, в которых допускается применение газовых инфракрасных излучателей и нагревателей воздуха.....	390
8.8.5 Общие требования к системам газового отопления и вентиляции.....	390
8.8.6 Санитарно-гигиенические и экологические требования.....	393
8.8.7 Удаление продуктов сгорания.....	397
8.8.8 Требования к отоплению и вентиляции.....	400
8.8.9 Средства автоматического регулирования, защиты, контроля и сигнализации.....	402
8.9 ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	403
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	404
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	406
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	411

ВВЕДЕНИЕ

Большая часть вырабатываемой тепловой и электрической энергии расходуется системами обеспечения жизни и деятельности человека (отопление, вентиляция, кондиционирование, освещение и водоснабжение).

Многие из этих систем в России проектировались десятки лет назад и часто подвергались необоснованной переделке. В настоящее время большинство из них функционируют далеко не в оптимальном режиме. Мало чем отличаются и вводимые по старым технологиям системы обеспечения жизни и деятельности человека.

Ненормальное положение сложилось и с установлением требуемой энергетической нагрузки у потребителей и на источнике теплоснабжения. После принятия еще в 1995 г. Закона «Об энергосбережении» вышли нормативные документы, предписывающие разработку энергосберегающих мероприятий, предоставляющие возможность создания территориальных нормативов и стандартов организаций. Предусматривалось установление класса энергетической эффективности и составление энергетических паспортов каждого здания (или потребителя) с включением мероприятий по приведению потребленной энергии в соответствие с федеральными и территориальными нормативными документами. Однако установление тепловой нагрузки и ее регулирование осуществлялось по-прежнему по укрупненным показателям, предложенным более полувека назад профессором Е. Я. Соколовым для ориентировочного определения нагрузки потребителями.

Положение не улучшилось и после принятия в 2003, 2009 и 2010 г.г. Федеральных Законов (ФЗ) № 184 «О техническом регулировании», № 261 «Об энергосбережении» и № 190 «О теплоснабжении». Не были выпущены вместо СНиП и ГОСТ требующиеся технические регламенты и своды правил.

Только после принятия ФЗ № 394 «Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений» предписывалось с 1 июля 2012 г. все СНиП «актуализировать» и перевести в ранг «Сводов правил». В настоящее время это требование частично выполнено в строительной и энергетической отрасли. Однако многие «Сводоы правил» оформлены формально и практически содержат материал десятки лет назад выпущенных СНиП (например, «Котельные установки» и «Тепловые станции»),

а например, очень важный для решения задач энергосбережения при создании заданного микроклимата Свод правил (СП) «Тепловая защита зданий» выпущен с большим количеством отклонений от СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». В нем исключено нормирование потребления энергии за холодный (отопительный) период и установление класса энергетической эффективности по этому важному показателю. По-прежнему «по укрупненным показателям» устанавливается тепловая нагрузка потребителей на отопление, вентиляцию, кондиционирование и горячее водоснабжение в СП 124.13330.2011 «Тепловые сети».

Однако только после правильного и обоснованного принятия требуемых параметров воздуха в каждом из помещений здания, аргументированного выбора систем обеспечения микроклимата и режимов их работы (с учетом особенностей эксплуатации помещений и их архитектурно-строительных характеристик), после составления балансов по теплоте и другим вредностям можно обоснованно установить потребность в энергии (теплоте, холоде, электричестве) и иметь основания для разработки мероприятий по повышению эффективности использования этой энергии. Получению знаний и умений для решения подобных задач и призван предлагаемый учебник.

Материал учебника также очень актуален и в связи с бурным поступлением на отечественный рынок огромного количества широко рекламируемого оборудования для создания микроклимата. Без глубоких и современных знаний невозможно сделать правильный выбор действительно необходимого и высокоэффективного оборудования.

Учебник изложен с учетом последних достижений в области создания микроклимата и включает анализ применяемых за последние сорок лет и действующих нормативных документов.

Содержащийся в учебнике материал поможет изучающим его принять аргументированное решение в сложившейся в настоящее время непростой ситуации с применением нормативных и справочных изданий.

Учебник позволит самостоятельно изучить основные разделы одноименной дисциплины, а приведенный в приложении пример выполнения курсовой работы «Кондиционирование воздуха в прядильном цехе» дает возможность закрепить получаемые студентом знания по всем основным разделам дисциплины.

При изложении материала учтен многолетний опыт работы авторов в рассматриваемой предметной области и преподавания подобной и смежных дисциплин для студентов и слушателей курсов повышения квалификации по энергетическим, технологическим и строительным специальностям.

Этот учебник авторы посвящают памяти своих учителей и наставников.

Авторы с благодарностью примут все замечания и предложения по содержанию и методическому представлению материала по адресу e-mail pvk.pte.ispu.ru.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

1.1 САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ В ПОМЕЩЕНИЯХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Самочувствие человека в помещении определяется условиями тепло- и влагообмена, которые зависят:

- от конституции организма;
- состояния здоровья;
- нервного напряжения;
- категории выполняемой работы;
- типа и материала одежды;
- температуры, влажности и скорости движения окружающего воздуха;
- расстояния от тела человека до поверхностей, излучающих или поглощающих теплоту, их размеров и температуры.

Имеют значение также:

- психика человека, его привычки, пол и возраст, продолжительность периода акклиматизации после входа в помещение;
- перепад температур между наружным и внутренним воздухом;
- наличие запахов приятных и неприятных;
- уровень шума и интенсивность искусственного и естественного освещения;
- цвет ограждений и окружающих предметов (технологического оборудования, мебели, ковров, штор, занавесей и т. п.).

Существует мнение о влиянии на самочувствие человека ионов различной полярности, содержащихся в воздухе помещения, и о неблагоприятном воздействии на работоспособность человека стабильных параметров воздуха.

Не всеми из перечисленных факторов можно управлять, однако все они могут отражаться на эффективности работы систем обеспечения комфортности в помещении.

Согласно нормативным документам, системы обеспечения комфортности подразделяются на системы *отопления, вентиляции и кондиционирования*.

Отопление – это поддержание в закрытых помещениях нормируемой температуры воздуха.

Вентиляция – обмен воздуха в помещении для удаления избытков теплоты, влаги, вредных и других веществ в целях обеспечения *допустимых* метеорологических условий и чистоты воздуха.

Кондиционирование воздуха предусматривает автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, скорости движения, чистоты) для обеспечения *оптимальных* метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия человека, ведения технологических процессов и обеспечения сохранности материальных ценностей.

Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха используются для выполнения двух задач:

- *санитарно-гигиенической*, обеспечивающей нормальное самочувствие человека;

- *технологической*, создающей условия для ведения технологических процессов, сохранности оборудования, материалов, художественных и музейных ценностей.

Считается, что рождению кондиционирования воздуха соответствует начало XX в., и мало кому известно, что сам термин «кондиционирование воздуха» впервые был использован еще в 1815 г. французом Жаном Фридериком де Чабонесом, получившим в том же году британский патент на методы регулирования температуры и поддержания условий воздушной среды в помещениях различного назначения. Вплоть до последнего времени этот термин содержал в себе представление только о тех процессах, которые осуществляются при непосредственной обработке воздуха, и параметрах воздушной среды в помещении (температура, влажность, подвижность).

Среди отечественных специалистов (даже в нормативно-справочной литературе) нет единого мнения относительно области применения кондиционирования воздуха: одни считают кондиционирование вентиляционной техникой, другие, наоборот, рассматривают кондиционирование воздуха как самостоятельную систему со своей собственной технической базой и специфическими способами поддержания нормируемых параметров воздушной среды. На наш взгляд, второй подход более целесообразен и логичен.

В Западной Европе, особенно в США, кондиционирование воздуха начинало свое развитие с технологических систем.

Первые такие системы появились на текстильных и бумагоделательных фабриках в начале XX в. В те же годы была предложена оросительная камера для обработки воздуха, получившая впоследствии широкое распространение.

В 20-х гг. XX столетия стали применяться комфортные системы в общественных зданиях. Системы кондиционирования, подобные современным, разрабатываются в промышленно развитых странах начиная с 30-х гг.

На сегодняшний день на Западе и в Японии кондиционирование воздуха представляет собой весьма престижную, оснащенную самой передовой техникой и технологией отрасль промышленности. Безусловным лидером в технике кондиционирования являются США.

В России первые примитивные установки регулирования параметров воздуха в помещениях стали использоваться с конца XIX – начала XX в. Одним из первых системами регулирования влажности было оснащено здание архива государственного Совета. В 1912 г. в здании Нового Эрмитажа была смонтирована установка увлажнения воздуха с использованием секции орошения.

Однако комфортные системы кондиционирования воздуха в условиях климата Центральной России не были в то время актуальными. Недостаточно развитыми в России были также техника и технологии холодильной промышленности, в которых с момента возникновения и до начала 50-х гг. XX в. практически не рассматривались вопросы кондиционирования.

Началом современного этапа развития кондиционирования в России считается середина 1950-х гг., когда в стране начался серийный выпуск центральных кондиционеров на Харьковском заводе кондиционеров. Конструкции этих кондиционеров разработаны в Ленинградском институте охраны труда (ЛИОТ) и НИИСантехпроект (г. Москва).

Следует отметить, что основным потребителем оборудования для кондиционирования воздуха в те годы было Министерство обороны. Оно же стало одним из инициаторов производства систем кондиционирования. Однако потребность в оборудовании для кондиционеров до начала восьмидесятых годов удовлетворялась не более чем на 30 %.

В настоящее время трудно качественно оценить соотношение потребности и степени ее удовлетворения, так как это связано с развалом многих отраслей промышленности.

На российский рынок поступает большое количество кондиционеров различной эффективности иностранных и отечественных производителей. Обоснованный выбор набора элементов и режимов работы систем кондиционирования требует от специалистов проектных и монтажных организаций и эксплуатационного персонала глубоких знаний.

1.2 КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Воздух, находящийся в помещении, следует рассматривать с двух позиций:

- среда, вдыхаемая человеком;
- среда, с которой человек, оборудование, материалы, художественные и музейные ценности находятся в постоянном или кратковременном контакте.

Для человека роль воздуха заключается в снабжении его кислородом, удалении из организма влаги при дыхании и в обеспечении процессов тепло- и влагообмена человеческого организма с окружающей средой.

Параметры воздуха, влияющие на жизнедеятельность человека, на его самочувствие и работоспособность, целесообразно классифицировать следующим образом:

- *метеорологические* параметры: температура; относительная влажность; скорость воздуха;
- *химический* состав воздуха (содержание кислорода, углекислого газа, вредных паров и газов);
- *биологические* показатели (микроорганизмы и пыль);
- *физические* характеристики: наличие запахов; электрические заряды; шум; вибрация и др.

Кроме этого, воздух в установках кондиционирования является средой, которая должна удалять из помещения пыль, вредные пары, газы и вносить или уносить требуемое количество теплоты и влаги.

1.3 ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ

«Под микроклиматом производственных помещений понимаются такие метеорологические условия воздушной среды этих помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения» [1].

Следует отметить, что эта группа параметров очень важна для создания комфортного состояния, но, как уже было и будет показано, далеко не в полной мере характеризует состояние воздушной среды, необходимой человеку и материальным ценностям.

Примечание. В соответствии с [65, 66] с января 2014 г. введен классификатор вредных и опасных производственных факторов: *физические* (микроклимат, аэрозоли, виброакустические факторы, световая среда, неионизирующие излучения, ионизирующие излучения); *химические* (химические вещества и смеси); *биологические* факторы (микроорганизмы патогенные – возбудители инфекционных заболеваний, живые клетки и споры); *тяжесть трудового процесса* (физическая нагрузка, масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную, стереотипные движения, статическая нагрузка, рабочая поза, наклоны корпуса тела работника, перемещение в пространстве); *напряженность трудового процесса* (длительность сосредоточенного наблюдения, плотность сигналов и сообщений в единицу времени, число объектов одновременного наблюдения, нагрузка на слуховой анализатор, активное наблюдение за ходом технологического процесса, работа с оптическими приборами, нагрузка на голосовой аппарат).

Человеческий организм представляет собой систему, в которой происходит трансформация различных видов энергии. В результате потребления пищи и разнообразной физической нагрузки в организме человека появляется теплота, которая затрачивается на поддержание температуры внутренних органов («ядра» тела) $t_{\text{я}}$, равной в среднем 36,5 °С, и на теплообмен с окружающей средой.

Поскольку сохранение постоянства температуры «ядра» тела – необходимое условие жизнедеятельности человека, его тепловой баланс должен обеспечивать равенство прихода и расхода теплоты.

Приход теплоты зависит от интенсивности химических превращений пищевых веществ и обменных процессов (*химическая терморегуляция*).

Расход теплоты осуществляется за счет *физической терморегуляции*. При этом в теле человека имеет место крайне сложное пространственное температурное поле. Это обусловлено неодинаковым образованием теплоты в отдельных органах, различной теплоизоляцией тканей, неодинаковыми условиями испарения пота, конвективного и лучистого теплообмена и переноса теплоты кровью. Постоянство температуры сохраняется только лишь в «ядре» тела человека. Температура же поверхностной части («оболочки») всегда в той или иной степени зависит от колебания метеорологических параметров окружающей среды.

К «ядру» тела биологи относят внутренности брюшной и грудной полостей, мозг и часть скелетных мышц, к «оболочке» – поверхностные ткани. Размер «оболочки» у человека (по данным разных авторов) соответствует 20–50 % от массы тканей, расположенных в поверхностном слое тела толщиной 25 мм. Например, при сильном охлаждении размер «оболочки» увеличивается, повышая тем самым тепловую изоляцию для обеспечения температуры «ядра».

Образующаяся в «ядре» теплота переносится в «оболочку» током крови и частично передается за счет теплопроводности тканей. Если выработка и потери теплоты не сбалансированы, то в организме будет наблюдаться или накопление теплоты и, как следствие, повышение температуры тела, или ее дефицит, приводящий к переохлаждению.

Таким образом, воздействие на человека тех или иных метеорологических параметров создает различные условия теплообмена организма с окружающей средой и обеспечивает определенное его тепловое состояние.

Тепловое состояние, при котором наблюдается незначительное напряжение терморегуляции, сохраняется работоспособность и здоровье, определяется как *состояние теплового комфорта (оптимальные метеорологические условия)*.

Границы метеорологических условий, в которых сохраняется тепловой комфорт и нет напряжения системы терморегуляции, называются *зоной комфорта*.

Условия, при которых нарушается состояние теплового комфорта, называются *дискомфортными*.

При наличии незначительных напряжений системы терморегуляции в отдельные моменты времени, не приводящих в то же время к ощутимой потере работоспособности и здоровья, параметры воздуха будут соответствовать *допустимым* метеорологическим условиям.

1.4 ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА НА ТЕПЛООБМЕН ЧЕЛОВЕКА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Теплообмен между «оболочкой» организма человека и окружающей средой осуществляется *конвекцией, излучением и испарением* влаги с его кожного покрова.

Основными факторами, обеспечивающими указанные виды теплообмена, являются *метеорологические параметры*: температура, относительная влажность, скорость воздуха и тепловое излучение.

Передача теплоты *конвекцией* Q_k , кВт, зависит от разности температур «оболочки» человека и воздуха и подвижности воздушной среды:

$$Q_k = \alpha_k \cdot A_{k,ч} \cdot (t_ч - t_{int}) \cdot 10^{-3}, \quad (1.1)$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·К);

$A_{k,ч}$ – площадь поверхности теплоотдачи конвекцией, м²;

$t_ч$, t_{int} – температуры поверхности кожного покрова человека и окружающего воздуха соответственно, °С.

Теплообмен *излучением* имеет место в том случае, когда в помещении находятся нагретые или охлажденные предметы (отопительные приборы, технологическое оборудование, ограждающие конструкции здания и т. п.).

Количество теплоты, передаваемой или поступающей излучением, рассчитывается по выражению (1.2) после приведения к конвективному виду формулы Стефана – Больцмана:

$$Q_s = \alpha_s \cdot A_{s,ч} \cdot (t_ч - t_{s,int}) \cdot 10^{-3}, \quad (1.2)$$

где α_s – коэффициент теплоотдачи излучением, приведенный к конвективному виду, Вт/(м²·К),

$$\alpha_s = C_{\text{пр}} \cdot \frac{\left(\frac{T_{\text{ч}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{s,int}}}{100}\right)^4}{t_{\text{ч}} - t_{\text{s,int}}}, \quad (1.3)$$

$C_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент излучения, Вт/(м²·К⁴); $T_{\text{ч}}$, $T_{\text{s,int}}$ – температуры поверхности кожного покрова человека и окружающих нагретых или охлажденных предметов соответственно, К; $t_{\text{ч}}$, $t_{\text{s,int}}$ – то же, °С.

При поверхности теплоотдачи «оболочки» человека, значительно меньшей поверхности нагретых или охлажденных предметов, $C_{\text{пр}}$ можно принять: для воды и снега – 5,47; обоев, стекла, мрамора, глиняного кирпича – 5,35; древесины, масляной окраски, известковой штукатурки – 5,00; для бетона – 3,61; алюминия – 0,64; абсолютно черного тела – 5,77 Вт/(м²·К⁴).

Когда температура «оболочки» человека равна или меньше температуры окружающего воздуха, основным процессом отвода теплоты от человека становится *испарение*.

Интенсивность испарения зависит от *относительной влажности, температуры и подвижности воздуха*.

Теплота, передаваемая за счет процесса *испарения* $Q_{\text{п}}$, кВт, определяется по формуле

$$Q_{\text{п}} = W_{\text{п}} \cdot r, \quad (1.4)$$

где r – скрытая теплота парообразования (находится по таблицам состояния воды и водяного пара при температуре поверхности зоны испарения), кДж/кг;

$W_{\text{п}}$ – количество испаренной человеком влаги (водяных паров), кг/с:

$$W_{\text{п}} = \beta_p \cdot (p_{\text{ч}} - p_{\text{int}}) \cdot A_{\text{п,ч}} \cdot 101,3 / P_{\text{int}}, \quad (1.5)$$

где β_p – коэффициент влагоотдачи, отнесенный к разности парциальных давлений, кг/(с·м²·Па);

$p_{\text{ч}}$ – давление насыщения водяных паров при температуре поверхности испарения кожного покрова, Па;

p_{int} – парциальное давление водяных паров в окружающем воздухе, Па;

$A_{п,ч}$ – площадь поверхности испарения, m^2 ;

101,3 и P_{int} – нормальное и действительное давления воздуха соответственно, кПа.

1.5 ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУХА

Химический состав воздуха зависит от назначения помещения, количества выделяющихся в помещении вредных паров и газов, от пребывания большего или меньшего количества людей и вида их деятельности.

Вредные пары и газы, в соответствии с [1], подразделяются:

– *по воздействию на органы* человека; например, сероводород и метиловый спирт оказывают воздействие на нервную систему; хлороформ и фосфор – на печень; бензол, толуол и окись углерода воздействуют на органы кровообращения; хлор, аммиак и сернистый газ – на верхние дыхательные пути и слизистую оболочку;

– *по степени воздействия* на организм человека вредные пары и газы разделяются на *четыре* класса опасности: *чрезвычайно опасные; высоко опасные; умеренно опасные; малоопасные*;

– *по совместному воздействию* на одни те же органы: *однаправленного и разнонаправленного действия*.

Содержание в воздушной среде паров и газов устанавливается в зоне, где находятся человек, *не выше предельно допустимых концентраций*.

Под *предельно допустимой концентрацией (ПДК)* вредных веществ в воздухе рабочей зоны следует понимать такую их концентрацию, mg/m^3 , которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или другой продолжительности (но не более 41 ч в неделю) на протяжении всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруженных современными методами исследований в процессе работы или в отдельные сроки жизни настоящего и последующих поколений [1].

Величины ПДК некоторых наиболее часто используемых или выделяемых в рабочей зоне паров и газов приведены в приложении А (таблица А.1).

При одновременном выделении в воздухе рабочей зоны нескольких вредных паров и газов однонаправленного действия сумма отношений фактических концентраций каждого из них ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) к их ПДК ($\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \text{ПДК}_3, \dots, \text{ПДК}_n$) не должна превышать единицы:

$$\frac{x_1}{x_{1,\text{ПДК}}} + \frac{x_2}{x_{2,\text{ПДК}}} + \dots + \frac{x_n}{x_{n,\text{ПДК}}} \leq 1. \quad (1.6)$$

Большое влияние на состояние воздушной среды оказывает выделяющаяся или вносимая в помещение *пыль*.

Пылью называется совокупность мельчайших частиц твердого или жидкого вещества, взвешенного в воздухе.

Пыль классифицируется:

– *по размеру фракций*: более 100 мкм (быстро оседает); менее 100 мкм (скорость витания таких пылинок от 0,2 до 10,0 м/с; при нормируемой скорости воздуха в помещении (0,2–0,5 м/с) пыль такой фракционности может находиться во взвешенном состоянии, поэтому она наиболее опасна);

– *по происхождению*: органическая; минеральная; смешанная;

– *по воздействию на организм человека*: нейтральная (не содержит токсичности, но оказывает механическое воздействие на органы дыхания); токсичная (пыль с включением веществ, вызывающих отравляющее или вредное воздействие на органы человека, и дополнительно оказывающая механическое воздействие на органы дыхания); силикозная или асбестовая (пыль, содержащая более 10 % свободной двуокиси кремния (SiO_2); вдыхание воздуха, содержащего эту пыль, приводит к тяжелым заболеваниям легких);

– *по совместному воздействию на организм: однонаправленного и разнонаправленного действия.*

Так же как для вредных паров и газов, нормативными документами установлены ПДК и *допустимые значения фактической* концентрации в рабочей зоне пыли одно- и разнонаправленного действия (зависимость (1.6), таблица А.1 и [1]).

Запыленный теплый влажный воздух является удобной средой для развития *болезнетворных микроорганизмов*. Поэтому своевременное и правильно организованное удаление пыли также важно при создании комфортных условий.

Кроме указанных параметров важное значение имеют *физическое состояние и наличие запахов* в воздухе помещений.

Источниками запахов в помещениях являются: животные и люди; технологическое оборудование; сырье и готовая продукция; горючие и смазочные материалы; растворители и краски; пищевые и химические продукты; оборудование для приготовления пищи; ковры, мебель, линолеум и декоративная отделка ограждений; загрязненные поверхности элементов СКВ; вода, циркулирующая в форсуночных секциях и орошаемых поверхностных воздухоохладителях; разлагающаяся пыль и минеральные масла на поверхностях фильтров и теплообменников; наружный воздух, загрязненный выбросами промышленных предприятий и транспорта.

Существует более *тридцати* различных теорий, объясняющих способность человека распознавать запахи, но большинство этих теорий экспериментально не подтверждается [2].

По одной из теорий молекулы пахучих веществ раздражают окончания обонятельного нерва, который посылает сигнал в нижний отдел коры головного мозга, где сигналы суммируются и перерабатываются в характеристики запаха.

Установлено, что существует *семь первичных запахов*, из которых можно получить любой запах. Первичные запахи: *камфароподобный; мускусный; цветочный; мятный; эфирный; острый и гнилостный*. Существуют пороговые концентрации веществ, ниже которых запах не ощущается.

Оценивать интенсивность запахов на основе инструментальных замеров в настоящее время не представляется возможным. С помощью обоняния люди могут давать только качественную оценку силы запаха. Для такой оценки используют шкалы, которые характеризуют субъективное ощущение силы запаха, не давая оценки степени его приятности.

Установлено, что *острота восприятия запаха падает с увеличением* относительной влажности воздуха и практически *не зависит от его температуры*.

Для *уменьшения неприятных ощущений* от запахов относительную влажность воздуха *рекомендуется поддерживать в пределах от 35 до 60 %*.

Замечено, что *ограждения больше адсорбируют* запахи при *понижении* температуры и *отдают* их при *повышении* температуры.

В ряде зарубежных стран неоднократно обсуждались законодательные меры *борьбы с запахами*. Однако законопроекты неизменно отвергались, поскольку *нельзя количественно определить интенсивность запахов*. Кроме того, собственно *запахи*, даже неприятные, *не приносят вреда здоровью людей*. Органолептический способ оценки запахов индивидуумами или группами людей не может быть признан полностью удовлетворительным, так как острота обоняния и правильность оценки силы запахов зависят от особенностей каждого человека, его привычек, образа жизни, трудовой деятельности, пола, возраста и состояния здоровья.

С запахами можно бороться в источнике их образования, в *месте их поступления* в помещения и, что уже плохо, *непосредственно* в помещениях, не допуская воздействия запахов на органы обоняния людей.

Физическим методом борьбы с запахами является *очистка* воздуха от пыли и бактерий в воздушных фильтрах, *вентиляция* помещений чистым воздухом, *озонирование*, *хлорирование*, *адсорбция*, *абсорбция* и *промывка* водой. Вентиляция нередко сопряжена с подачей больших объемов наружного воздуха, на обработку которого необходимо значительное количество теплоты, холода и электроэнергии. Так, если для поглощения углекислоты, выделяемой человеком, требуется подача около $7 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха, то для уничтожения запахов, выделяемых человеком, находящимся в спокойном состоянии, необходимо подавать уже $14\text{--}40 \text{ м}^3/\text{ч}$, а при выполнении умеренной физической работы – от 20 до $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха [2, 54].

Озонирование при электрическом разряде протекает с разделением одноатомных кислорода и азота, которые, взаимодействуя друг с другом, образуют вредные для людей окислы азота. Кроме того, *озон в больших концентрациях вреден* для здоровья людей (ПДК равна $0,1 \text{ мг}/\text{м}^3$). Установлено, что *при малых концентрациях* ($0,01\text{--}0,03 \text{ мг}/\text{м}^3$) получение озона не сопровождается значительным образованием окислов азота,

способствует уничтожению *запахов*, *стерилизации* воздуха и *улучшению* самочувствия людей.

Методы адсорбции (пропускание воздуха через активированный древесный уголь) и *абсорбции* (орошение воздуха растворами, например хлористого кальция и хлористого лития) связаны с необходимостью *регенерации адсорбентов* и *абсорбентов*. Положительным свойством растворов хлористого лития и хлористого кальция является их бактерицидное действие.

Промывка воздуха водой в форсуночных и насадочных камерах наиболее доступна, однако при ней удаляются только запахи, вызываемые растворимыми в воде веществами (например, запах аммиака).

Удаление запахов из *рециркуляционного* воздуха позволяет в ряде случаев *сокращать* количество вводимого наружного воздуха.

Поглощение *запахов древесным углем* зависит от вида поглощаемых газов и паров, их концентрации, температуры, относительной влажности и скорости воздуха.

С помощью активированного угля *нельзя очистить воздух* от ацетилена, водорода, метана, окиси углерода, углекислого газа и этилена.

Плохо поглощается активированным углем аммиак, бутан, двуокись азота, пропан, пропилен, сернистый газ, сероводород и этиловый эфир. Активированный уголь *способен поглощать* до 16 % от своей массы ацетон, акролеин, анестезирующие вещества, пары метилового эфира, хлор и до 33 % пары бензина, автомобильные газы, испарения от человеческих тел и смазочных материалов, хлороформ и фенол.

Дезодорация рециркуляционного воздуха активированным углем приводит к *сокращению* расходов теплоты и холода. Следует отметить, что борьба с запахами с помощью активированного угля *эффективна при низкой скорости* воздуха.

Успешную борьбу с запахами обеспечивает *деструктивный* метод окисления. При окислении молекул пахнущих веществ запах лишается своего физиологического действия на органы обоняния нервной системы.

К химическим способам борьбы с запахами относятся *сжигание, каталитическое горение* и *воздействие* на воздух *химических реагентов*. Прямое и каталитическое сжигание наиболее эффективно при борьбе с промышленными выбросами.

Учебное издание

**ПЫЖОВ Валерий Константинович
СМИРНОВ Николай Николаевич**

СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И ОТОПЛЕНИЯ

Учебник

ISBN 978-5-9729-0345-0



Подписано в печать 25.02.2019
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «Arial».

Издательство «Инфра-Инженерия»
160011, г. Вологда, ул. Козленская, д. 63
Тел.: 8 (800) 250-66-01
E-mail: booking@infra-e.ru
<https://infra-e.ru>

Издательство приглашает
к сотрудничеству авторов
научно-технической литературы