



**Липа, А. И.** Кондиционирование воздуха. Основы теории. Современные технологии обработки воздуха [Текст] / Липа Александр Иванович. - Одесса : ОГАХ, изд-во ВМВ, 2010. - 607 с. : табл., рис. - Библиогр.: с. 588-601. - ISBN 978-966-413-146-6.

Изложены теоретические основы кондиционирования, базирующиеся на термодинамике влажного воздуха. Рассмотрены типичные процессы и аппараты термовлажностной обработки воздуха. Приведены схемные решения и проанализированы новые технологии

осушения, увлажнения, испарительного охлаждения воздуха и теплоутилизации. Показано построение процессов в диаграммах влажного воздуха. Приведены сведения о приборах измерения влажности. Освещены вопросы истории. Обсуждены проблемы и тенденции развития кондиционеростроения, задачи и требования к специалистам.

Для студентов, аспирантов, научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области кондиционирования воздуха, а также для специалистов смежных профессий.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Приветствую всех, кто решил связать свое будущее с холодильной техникой, и особенно тех, кто будет специализироваться в области кондиционирования воздуха. Вы сделали правильный выбор!

Сегодня - это одна из наиболее перспективных профессий. Быстро развивающийся рынок кондиционеров гарантирует востребованность специалистов на рынке труда.

Для сведения, мировой объем продаж кондиционеров неуклонно возрастает: от 41,9 млн. установок в 2000 году до 68,7 млн. ед. в 2008 году (по данным Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association). Европейский рынок оценивается 7-процентной долей глобального объема.

*Предлагаемое вашему вниманию издание посвящено основам кондиционирования воздуха, я надеюсь, поможет заинтересованному читателю уверенно сделать первый шаг.*

Как изучать предмет? Какое место занимают в этом процессе лекции, практические занятия, лабораторные работы? Ответы на поставленные вопросы можно найти в советах *Петра Леонидовича Капицы* - замечательного ученого, одного из основателей физики низких температур,

лауреата Нобелевской премии, ученика и друга Эрнеста Резерфорда, инженера и педагога, — данных им студентам МГУ на вступительной лекции в 1947 году

1. *«Самостоятельное изучение физики по книге вы должны рассматривать как свою основную работу. Лекции, упражнения, практикумы будут вам только помогать. Лектор излагает материал по-своему, излагает свою точку зрения: он читает вам лекции по небольшим запискам, может многое упустить. Он может дать общее представление, но большей частью он не может точно изложить предмет. Это может быть сделано только в учебнике. Поэтому из лекций вы можете вынести только общее впечатление о предмете, и очень трудно по лекциям изучать предмет, чтобы полностью его освоить. Упражнения и практикумы будут служить лучшим методом проверки полученных знаний, и на них вы должны смотреть как на способ проверки ваших знаний. Если вы умеете решать задачи, умеете вычислять, умеете проводить эксперимент и понимать его, значит, вы понимаете этот отдел физики».*
2. *«...надо не только понимать физику и законы физики, а надо понять, как делается физика, как она создавалась, какова роль эксперимента, какова роль теории, какова роль математики. Все это вам надлежит понять, чтобы потом уметь самим работать в этой области».*
3. *«Как читать книгу, как в ней разбираться?...Надо сперва прочесть данную главу быстро, не останавливаясь на непонятных вещах, стремясь схватить общий смысл. Когда вы его схватили, тогда вы внимательно вчитываетесь во все детали вопроса. Не следует читать так: не понял и остановился. Это не страшно - не понял сейчас, дойдет потом. Читай дальше. Когда второй раз будешь читать, для тебя легче будут эти непонятные места, они обычно приобретают другой смысл и становятся более понятными. Даже если целые главы трудны, непонятны, их временно можно оставить, отложить, перейти к другой главе, а затем совершенно неожиданно из другого вопроса вы можете получить освещение предыдущего. Если отдельные вопросы непонятны в одной книге, поищите в другой книге, другое по другой».*
4. *«...вам следует подбирать учебники по своему вкусу. Разные авторы пишут учебники, излагая предмет таким путем, каким он понятен им самим. Так, некоторые из них больше уделяют внимания экспериментам, некоторые — больше математике, другие больше уделяют внимания связи теории с опытом. Вам надлежит подобрать себе тот учебник, который вам больше всего по душе, который больше всего нравится. Таким образом, это будет тот учебник, автор которого мыслит примерно так же, как вы мыслите» [38].*

*Я очень рассчитываю на то, что данное издание книги поможет вам найти «свой учебник».*

В книге достаточно много исторических ссылок (это наши «корни»), уважительное отношение к экспериментальному материалу (это критерий

истины). С привычными для нас терминами параллельно вводится их англоязычный вариант. Это сделано в связи с насыщением рынка различной зарубежной техникой и неизбежностью интегрирования в европейское и мировое сообщество. Рассмотрены традиционные и современные технологии обработки воздуха, новые функциональные возможности оборудования.

В приложения помещены: справочные данные по свойствам влажного воздуха; информация об американской психрометрической диаграмме; сведения о климате стран мира; биографические очерки, посвященные выдающимся личностям (ученым и инженерам), внесшим существенный вклад в развитие теории и практики кондиционирования.

В книге Вы также найдете адреса веб-сайтов ведущих мировых компаний, научно-исследовательских институтов, национальных лабораторий в информационной сети “Internet”, к которым обязательно следует обращаться. Используйте также возможности различных информационных и образовательных сайтов для получения информационных бюллетеней и писем (newsletters), в т.ч. Global Spec. - The Engineering Search Engine (The Engineering Web) - крупнейшей информационной системы и базы данных в области инженерии, раздел Техника: устройства и технологии.

*И последнее: смею надеяться, Уважаемый Читатель, что выбор данной области знаний в качестве предмета изучения сделан Вами осмысленно. Тогда, истинное желание познания будет обязательно способствовать Вам на этом пути...*

*Помните слова Леонардо да Винчи: «Так же как поглощение еды без удовольствия превращается в скучное питание, так и занятие наукой без страсти засоряет память, которая становится неспособной усваивать то, что она поглощает».*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ .....</b>	<b>8</b>
<b>1. ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>10</b>
1.1. История вопроса .....	10
1.2. Требования к специалистам и задачи, стоящие перед ними. Профессиональные объединения.....	25
1.3. Параметры внешней среды, действующей на объекты СКВ.....	28
<b>2. УЧЕНИЕ О ВОЗДУХЕ.....</b>	<b>38</b>
2.1 Газовые законы и их применимость для системы влажный воздух..	43
2.2. Характеристики влажности воздуха.....	47
2.2.1 Абсолютная влажность.....	47
2.2.2. Относительная влажность.....	47
2.2.3. Плотность.....	50
2.2.4. Удельная влажность, влагосодержание и парциальное	

давление.....	52
2.2.5. Температура точки росы и температура по мокрому термометру.....	56
2.3. Калорические свойства воздуха. Энтальпия (теплосодержание) и теплоемкость.....	61
2.4. Некоторые сведения о воде — главной компоненте влажного воздуха и области тумана.....	64
<b>3. ГИГРОМЕТРИЯ.....</b>	<b>73</b>
3.1 Принципы и приборы измерения влажности.....	73
3.1.1. Психрометры.....	73
3.1.2. Конденсационные гигрометры.....	80
3.1.3. Механические (волосные) гигрометры.....	85
3.1.4. Электрические датчики влажности.....	88
3.1.4.1 Резистивные датчики.....	88
3.1.4.2. Емкостные датчики.....	92
3.1.5. Калибровка гигрометров.....	95
3.2. Страницы истории. Кодекс Да Винчи.....	98
<b>4. ДИАГРАММЫ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА.....</b>	<b>107</b>
4.1 d,h - диаграмма. Построение и расчетная схема определения параметров влажного воздуха.....	109
4.2. Решение задачи смешения потоков воздуха в d,h - диаграмме.....	116
4.3. Изображение процессов изменения состояния влажного воздуха в d,h - диаграмме.....	118
<b>5. ОБРАБОТКА ВОЗДУХА В КОНТАКТНЫХ АППАРАТАХ.....</b>	<b>123</b>
5.1 Взаимосвязь тепло- и массообмена. Соотношение Льюиса.....	123
5.2. Основное уравнение кинетики политропических процессов тепломассообмена между воздухом и водой.....	125
5.3. Дифференциальное уравнение изменения состояния воздуха. Типичные процессы обработки воздуха водой.....	126
5.4. Изобарно-адиабатический процесс. Температура адиабатического насыщения или теоретический предел охлаждения.....	130
<b>6. ОБРАБОТКА ВОЗДУХА В ПОВЕРХНОСТНЫХ АППАРАТАХ.....</b>	<b>134</b>
6.1. Теплопередача и конструктивные особенности аппаратов.....	138
6.1.1 Основные типы ребер и их характеристика.....	139
6.1.2. Компоновка теплообменников.....	150
6.1.3. Схемы распределения потоков.....	157
6.1.4. Компоновка кондиционеров. Агрегатированные поверхностные аппараты - фэнкойлы.....	161
6.1.5. Электрические воздушнонагреватели.....	165
6.1.5.1 Нагревательные элементы. Устройство и материалы...165	
6.1.5.2. Особенности аппаратов. Режимные характеристики...172	

6.2. Механические осушители.....	180
6.2.1 Адаптивные циклы осушения.....	190
<b>7. ОСУШЕНИЕ ВОЗДУХА СОРБЕНТАМИ .....</b>	<b>194</b>
7.1. Абсорбция влаги. Рабочие вещества, циклы и установки.....	194
7.2. Адсорбция влаги.....	210
7.2.1 Физическая картина. Адсорбционные силы.....	210
7.2.2. Особенности адсорбции паров воды. Водородные связи.....	213
7.2.3. Кинетика адсорбции.....	215
7.2.4. Адсорбенты.....	218
7.2.4.1 Неорганические сорбенты.....	218
7.2.4.1.1. Алюмогели.....	218
7.2.4.1.2. Силикагели.....	220
7.2.4.1.3. Цеолиты.....	225
7.2.4.2. Органические сорбенты.....	234
7.2.4.3. Функционализированные сорбенты.....	237
7.2.4.3.1. Мезоструктурированные мезопористые материалы.....	237
7.2.4.3.2. Термочувствительные полимеры.....	243
7.2.4.3.3. Наноккомпозиты.....	246
7.2.5. Адсорберы.....	252
7.2.5.1 Установки с переключающимися адсорберами.....	253
7.2.5.2. Роторно-сорбентные установки (PCY).....	258
7.2.5.2.1. Схемы роторно-сорбентной технологии.....	272
7.2.5.2.2. Примеры использования PCY.....	285
7.3. Условия, определяющие выбор способа осушения воздуха.....	305
<b>8. УВЛАЖНЕНИЕ ВОЗДУХА.....</b>	<b>312</b>
8.1 Увлажнители-атомайзеры.....	319
8.1.1. Форсуночные камеры и устройства.....	320
8.1.1.1. Гидравлические форсунки низкого и среднего давления.....	325
8.1.1.2. Пневматические форсунки.....	332
8.1.1.3. Гидравлические форсунки высокого давления.....	341
8.1.2. Ультразвуковые увлажнители.....	349
8.1.2.1 Пьзоэлектрические устройства.....	350
8.1.2.2. Магнитострикционные устройства.....	369
8.1.3. Механические распылители центробежного типа.....	373
8.2. Увлажнители испарительного типа.....	383
8.2.1 Пленочные аппараты.....	383
8.2.2. Аппараты с капиллярно-пористыми насадками.....	398
8.2.3. Увлажнители с использованием наноматериалов.....	401
8.3. Паровые увлажнители.....	404
8.3.1 Особенности и базовые принципы организации процесса увлажнения воздуха паром.....	404
8.3.2. Увлажнители, работающие на сетевом паре.....	413

8.3.3. Автономные пароувлажнители.....	416
8.3.3.1. Увлажнители с электронагревательными элементами...	423
8.3.3.2. Электродные пароувлажнители.....	426
8.3.3.3. Увлажнители с инфракрасными излучателями.....	431
<b>9. ИСПАРИТЕЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ.....</b>	<b>444</b>
<b>10. ВЛИЯНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА КАЧЕСТВО ВОЗДУХА.....</b>	<b>464</b>
10.1 Синдром «больного здания». Условия и механизм грибкового поражения.....	466
10.2. Проблема Легионеллы.....	476
<b>11. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СКВ.....</b>	<b>489</b>
11.1. Теплоутилизация с помощью поверхностных газожидкостных теплообменников и тепловых труб Twinvent & Heatvent.....	491
11.1.1. Модульная установка теплоутилизации Econet.....	500
11.1.2. «Энтальпийный насос» Enthalpy Pump - DOAS System.....	503
11.2. Теплоутилизаторы на базе пластинчатых рекуператоров Directvent.....	505
11.2.1 Рекуператоры с гигроскопичными пластинами.....	518
11.3. Изображение в d,h - диаграмме процессов теплоутилизации в установках кондиционирования воздуха с рекуператорами.....	520
11.4. Теплоутилизация с помощью роторов-регенераторов Rotorvent..	523
11.4.1 Энергосберегающие схемы DEC/ECOS.....	536
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	
I. Схемы и конструктивные особенности кондиционеров.....	545
II. Влажный воздух. Справочные данные.....	549
III. Аппроксимация SONNTAG экспериментальной зависимости величины парциального давления насыщенных водяных паров от температуры...	552
IV Диаграммы состояний R729, R718.....	554
V Косоугольная d,h - диаграмма Рамзина - Молье.....	555
VI. Психрометрическая t,d - диаграмма влажного воздуха.....	559
VII. Свойства абсорбентов: водных растворов хлоридов кальция, лития и этиленгликоля.....	563
VIII. Дополнительная информация об адсорбентах (цеолитах, ионитах)...	566
IX. Биографические очерки.....	569
Л.К. Рамзин.....	569
Р Молье.....	571
Ф. Меркель.....	572
В. Керриер.....	573
К. Мунтерс.....	575
О диаграмме Гросвенора.....	577
X. Климатические данные стран мира.....	579
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>588</b>

<b>ПОСЛЕСЛОВИЕ.....</b>	<b>602</b>
-------------------------	------------