

УДК 697.911

Процессы обработки воздуха в системах кондиционирования воздуха

Д-р техн. наук, профессор **Никитин А.А.**

Рябова Т.В., Поддубный Р.А.

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Системы кондиционирования и вентиляции воздуха стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Их цель обеспечить нормальные условия жизнедеятельности в жилых и производственных помещениях, объектах промышленного, транспортного и индивидуального назначения. Основные задачи систем кондиционирования: обеспечить соблюдение санитарных норм жизнеобеспечения комплексно включая в технологический процесс регулирование давления, температуры, влажности и чистоты воздуха в помещении. Поддержание параметров достигается за счет подачи приточного воздуха, который проходит предварительную обработку (нагрев, охлаждение, увлажнение, осушение). В данной статье рассмотрены основные простейшие процессы обработки влажного воздуха среди которых: нагрев и охлаждение в поверхностных аппаратах, увлажнение воздуха паром, обработка водой. Изучение этих процессов дает начальное представление кондиционировании влажного воздуха и дает возможность перейти к расчетам для получения заданных параметров микроклимата.

Ключевые слова: температура, давление, относительная влажность, процессы обработки воздуха, h-d диаграмма.

Process air treatment systemsair-conditioning

D. Sc., professor **Nikitin A.A.**

Ryabova T.V., Poddubnyi R.A.

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Air conditioning and ventilation systems have become an integral part of our daily life. Their goal is to provide normal living conditions in residential and industrial buildings, industrial, transportation and individual destiny. The main tasks of air conditioning systems: ensure compliance with sanitary norms life support including a comprehensive process control of pressure, temperature, humidity and air cleanliness in the room. Maintenance parameters is achieved by ventilation air that passes pretreatment (heating, cooling, humidifying, dehumidifying). In this article the basic simple machining moist air such as: heating and cooling devices in the surface, steam humidification, water treatment. The study of these processes gives a first insight into the moist air conditioning and a chance to move to the calculations for the given parameters of the microclimate.

Keywords: temperature, pressure, relative humidity, air treatment processes, chart h-d.

Системы вентиляции и кондиционирования предназначены для обеспечения оптимальных и комфортных условий жизнедеятельности в жилых и производственных помещениях, а также в объектах промышленного, транспортного и индивидуального назначения. Они предназначены обеспечить соблюдение санитарных норм жизнеобеспечения комплексно включая в технологический процесс регулирование давления, температуры, влажности и чистоты воздуха в помещении. [1]

Воздух, находящийся внутри помещений, может изменять свой состав, температуру и влажность под действием самых разнообразных факторов: изменений параметров наружного (атмосферного) воздуха, выделения тепла, влаги, пыли и вредных газов от людей и технологического оборудования. В результате воздействия этих факторов воздух помещений может принимать состояния, неблагоприятные для самочувствия людей или препятствующие нормальному протеканию технологического процесса. Чтобы избежать чрезмерного ухудшения качества внутреннего воздуха, требуется осуществлять воздухообмен, то есть производить смену воздуха в помещении. При этом из помещения удаляется загрязненный внутренний воздух и взамен подается более чистый, как правило, наружный, воздух. [2,8]

В атмосферном воздухе всегда содержится то или иное количество влаги в виде водяного пара. Такая смесь сухого воздуха с водяным паром называется влажным воздухом. Кроме водяного пара, влажный воздух может содержать мельчайшие капельки воды (в виде тумана) или кристаллы льда (снег, ледяной туман). Водяной пар во влажном воздухе может быть в насыщенном или перегретом состоянии. Смесь сухого воздуха и насыщенного водяного пара называют насыщенным влажным воздухом. Смесь сухого воздуха и перегретого водяного пара называют ненасыщенным влажным воздухом. При невысоких (близких к атмосферному) давлениях, с достаточной для технических расчетов точностью, можно рассматривать и сухой воздух, и водяной пар как идеальные газы. При расчетах процессов с влажным воздухом обычно рассматривается 1 кг сухого воздуха. Переменной величиной является количество содержащегося в смеси пара. Поэтому все удельные величины, характеризующие влажный воздух, относятся к 1 кг сухого воздуха (а не к смеси). [3]

Как и у любого вещества, у влажного воздуха есть основные параметры, определяющие его состояние, и достаточно двух независимых из них, чтобы полностью определить его состояние. Однако, из-за сложности ввиду неравновесности, а также для удобства описания процессов обычно выделяют 6 основных параметров влажного воздуха.

Перечислим их:

1. Давление (абсолютное), P , атм;
2. Температура, t , К или С;
3. Относительная влажность, φ , %;
4. Энтальпия, h , кДж/кг*С;
5. Влагосодержание, d , г/кг;
6. Парциальное давление водяного пара, p_n , Па. [4,9]

Наиболее полное представление о возможных состояниях влажного воздуха с использованием всех шести вышеперечисленных параметров даёт $h-d$ диаграмма влажного. Диаграмма влажного воздуха дает графическое представление о связи параметров влажного воздуха и является основной для определения параметров состояния воздуха и расчета процессов тепловлажностной обработки.

Диаграмма влажного воздуха $h - d$ была создана в 1918 году известным ученым-теплотехником Л.К. Рамзиным (1887-1948). Он построил ее, столкнувшись с большими трудностями аналитического расчета процессов сушки влажного торфа в топках паровых котлов. В настоящее время $h - d$ диаграмма широко применяется при расчете и проектировании процессов сушки различных материалов, при кондиционировании воздуха и во всех тех случаях, когда приходится иметь дело с процессами изменения состояния влажного воздуха. Для большей наглядности и в целях рационального использования площади чертежа $h - d$ диаграмма строится не в прямоугольной, а в косоугольной системе координат. Вертикальная ось является осью энтальпий, наклонной осью служит ось влагосодержаний d . [5]

При проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха приходится встречаться с различными процессами изменения состояния воздуха. Эти изменения происходят при нахождении

воздуха как в обслуживаемых помещениях, так и в аппаратах, предназначенных изменять состояния воздуха в заданном направлении. [6,7]

Наиболее простыми процессами тепловлажностной обработки воздуха, используемые в системах кондиционирования, являются: процесс нагрева и охлаждения (с осушением) воздуха в поверхностных аппаратах, увлажнение воздуха паром, обработка воздуха водой (адиабатный и политропные процессы). Рассмотрим различные процессы изменения состояния воздуха при подводе и отводе от него теплоты и влаги.

При нагревании (процесс Н-К на рис. 1) или охлаждении (процесс Н2-К на рис. 1) воздуха без добавления или удаления из него водяных паров происходит только изменение температуры воздуха без изменения его влагосодержания. Если влажный воздух охлаждается ниже точки росы, процесс сопровождается выпадением конденсата на твердых поверхностях и охлаждение воздуха приводит к его осушке (процесс Н2-К2 на рис.1).

Процесс нагрева в поверхностном воздухонагревателе будет описываться:

$$Q_T = c_B G_B (t_K - t_H)$$

$$Q_{T(B)} = G_B (h_K - h_H)$$

$$Q_{T(w)} = c_w G_w (t_k - t_h)$$

Процесс охлаждения в поверхностном воздухоохладителе:

$$Q_{X(B)} = G_B (h_K - h_H)$$

$$Q_{X(w)} = c_w G_w (t_{w_2} - t_{w_1})$$

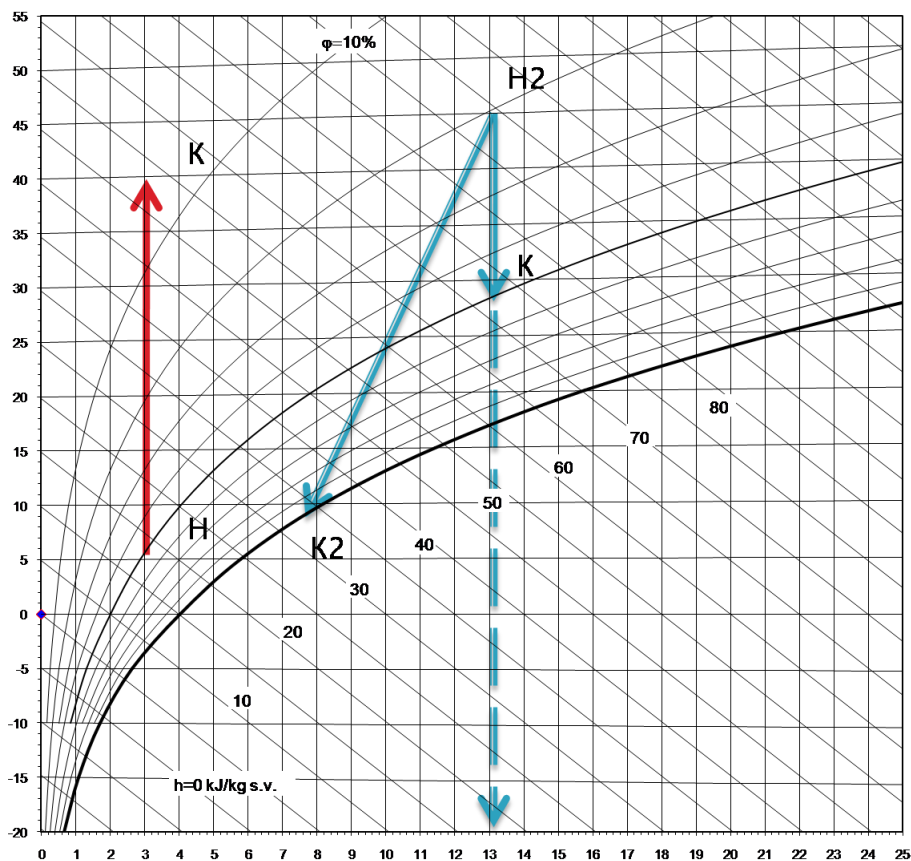


Рис. 1. Процессы нагрева и охлаждения

При $t_{нов} > t_p$ охлаждение происходит без конденсации влаги:

$$\begin{aligned} d_K &= d_{K_1} \\ c_B \Delta t &= \Delta h \\ Q_X &= c_B G_B \Delta t = G_B \Delta h \end{aligned}$$

При $t_{нов} < t_p$ процесс сопровождается выпадением конденсата на твердых поверхностях и охлаждение воздуха приводит к его осушке:

$$d_K < d_H \\ Q_X = G_B (h_H - h_{K_2}) = [c_B G_B (t_H - t_{K_2})] + [r G_B (d_H - d_{K_2})]$$

Процесс увлажнения воздуха подачей водяного пара можно рассмотреть по расчетной схеме 1.

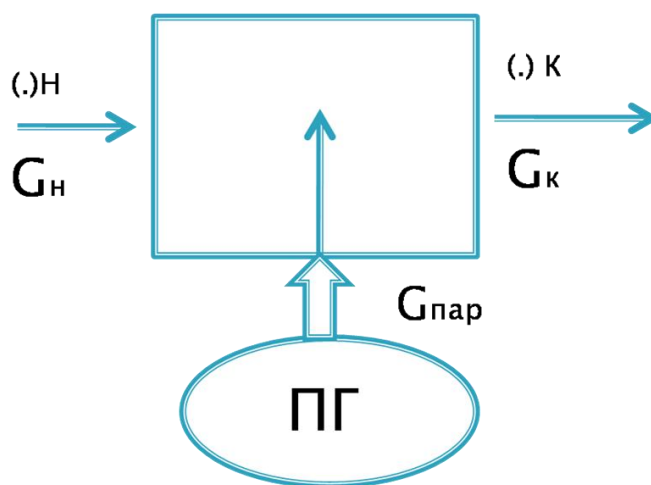


Рис. 2. Схема расчетная форма

$$\begin{aligned} (d_H * G_B) + (G_{пар}) &= (d_K * G_B) \\ (h_H * G_B) + (r * G_{пар}) &= (h_K * G_B) \\ \frac{(h_K - h_H)}{(d_K - d_H)} &= \frac{\Delta h}{\Delta d} = r = 2500 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right) = 2,5 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{г}} \right) \end{aligned}$$

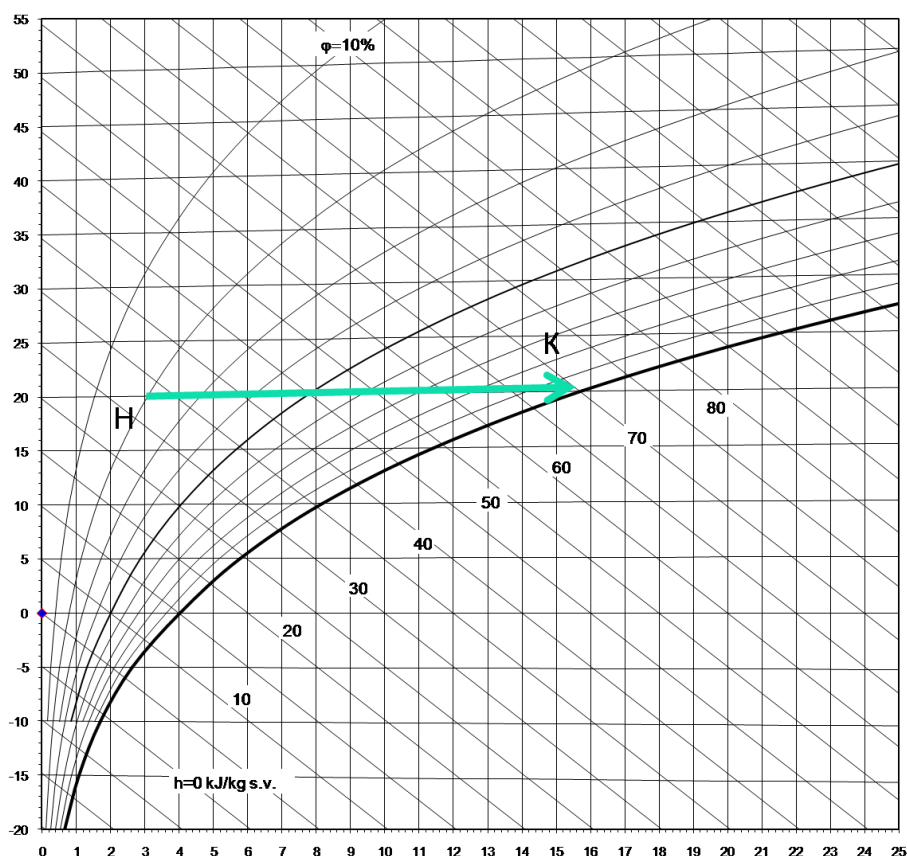


Рис. 3. Процесс увлажнения воздуха

Процесс обработки воздуха водой рассматривается как процесс тепломассообмена между поверхностью капли воды и воздухом. В идеальных условиях (при $F \rightarrow \infty$ и $\tau \rightarrow \infty$) конечные параметры воздуха (K) зависят от температуры воды. Адиабатное увлажнение (рис. 3, H-K) широко применяется в системах кондиционирования, в частности, в оросительной камере, где с помощью форсунок производится распыление воды.

Все процессы, кроме адиабатного (рис. 3 H-K), называют политропными (рис. 3 H-K1\K2\K3\M). (2)

Адиабатный процесс:

$$\begin{aligned}
 -Q_{\text{явн}} &= c_B G_B (t_H - t_K) \\
 +Q_{\text{скр}} &= r[G_B (d_M - d_H)] \\
 Q_{\text{полн}} &= -Q_{\text{явн}} + Q_{\text{скр}} = 0 \\
 Q_{\text{полн}} &= G_B (h_H - h_K) = 0 \\
 h_H &= h_K = h_M \\
 E &= \frac{\overline{HK}}{\overline{HM}} = \frac{t_H - t_K}{t_H - t_M} = 1 - \frac{t_K - t_M}{t_H - t_M}
 \end{aligned}$$

Таким образом, можно сделать вывод:

$$\begin{aligned}
 \Delta h > 0 &: \text{нагрев} & \Delta d > 0 &: \text{увлажнение} \\
 \Delta h < 0 &: \text{охлаждение} & \Delta d < 0 &: \text{осушение}
 \end{aligned}$$

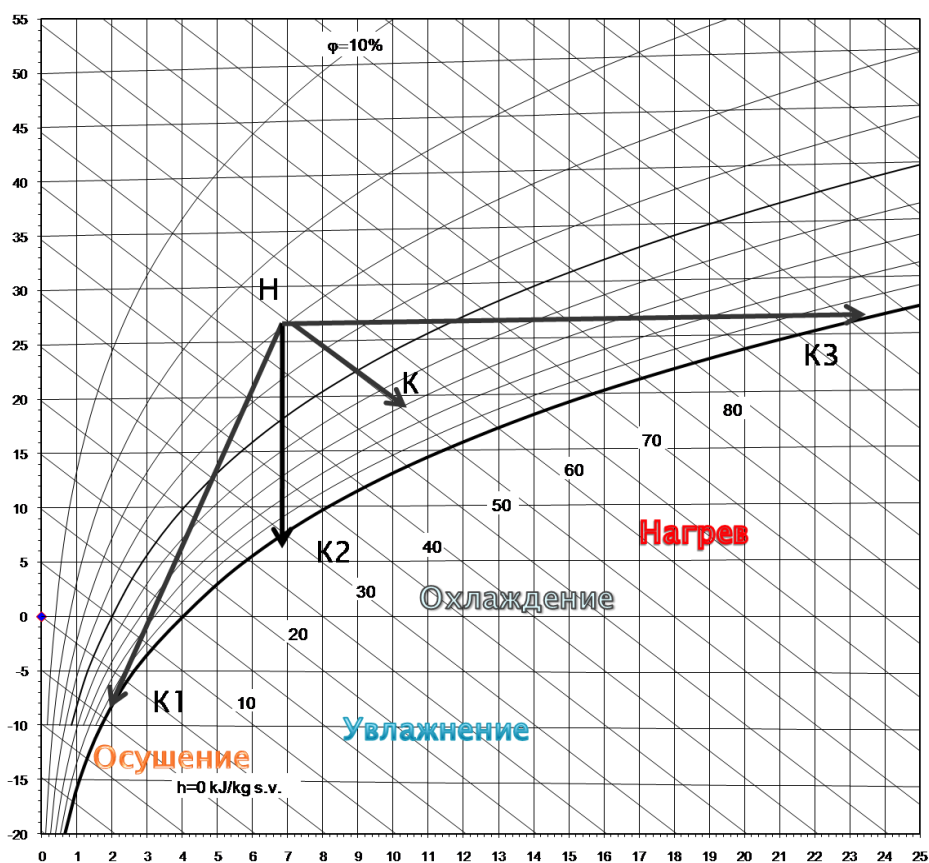


Рис. 4.

Основными задачами систем кондиционирования воздуха является поддержание оптимальных и допустимых параметров воздуха в объектах кондиционирования. К основным параметрам влажного воздуха относятся: давление, температура, влажность, чистота воздуха в помещении и др. Для обеспечения данных параметров необходимо изучать процессы обработки воздуха в системах кондиционирования. Знание этих процессов дает возможность рассчитать заданные параметры микроклимата в объекте кондиционирования.

Список литературы

1. Кондиционирование и вентиляция/ Учебное пособие для магистров РГАТА / Пиралишвили Ш. А., - Рыбинск: РГАТА, 2002. - 80 с.
2. Вентиляция общественных зданий. Курс лекций / Ивашкевич А.А. , - Хабаровск: Хабаровский Государственный технический университет, 2002.
3. Основы теории кондиционирования воздуха: Учебное пособие. / Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. / Расщепкин А.Н., Архипова Л.М., - Кемерово: Хабаровский Государственный технический университет, 2006. - 78 с.
4. Влажный воздух. Параметры влажного воздуха. // AboutDC.ru URL: <http://www.aboutdc.ru/page/354.php>
5. В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин "Техническая термодинамика" . - М.: Издательство МЭИ., 2008. - 416 с.
6. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. - СПб.: Издательство "Авок Северо-Запад", 2005. - 400 с.

7. Изельт П., Арндт У. Кондиционирование воздуха // <http://www.technosphaera.ru/lib/book/10?read=1>
8. Учебник для технологических факультетов // <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-139-santehnika/20.htm>
9. Вентпром // <http://www.ventprom.spb.ru/#&panel1-2>.
10. Коченков Н.В. Проблема разработки научно-методических основ создания систем кондиционирования воздуха для помещений с разнохарактерными нагрузками // Вестник Международной академии холода. 2014. №3. С. 48 -52.
11. Коченков Н.В., Коченков В.Н. Сравнительная оценка годовых энергозатрат в центральной и децентрализованной системах кондиционирования воздуха // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 3. С. 37-49.
12. Коченков Н.В., Немировская В.В. Содержательная постановка задачи векторной оптимизации для систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2012. №1. С. 40 - 43.
13. Цыганков А.В., Белоглазова (Фонякова) А.С. Комплексная оценка эффективности систем кондиционирования воздуха в помещениях жилых зданий // Вестник Международной академии холода. 2011. №4. С. 33 -36.

Referenses

1. Konditsionirovanie i ventilyatsiya/ Uchebnoe posobie dlya magistrov RGATA / Piralishvili Sh. A., - Rybinsk: RGATA, 2002. - 80 s.
2. Ventilyatsiya obshchestvennykh zdaniy. Kurs lektzii / Ivashkevich A.A. , - Khabarovsk: Khabarovskii Gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2002.
3. Osnovy teorii konditsionirovaniya vozdukha: Uchebnoe posobie. /Kemerovskii tekhnologicheskii institut pishchevoi promyshlennosti. / Rasshchepkin A.N., Arkhipova L.M., - Kemerovo: Khabarovskii Gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2006. - 78 s.
4. Vlazhnyi vozdukh. Parametry vlazhnogo vozdukha. // AboutDC.ru URL: <http://www.aboutdc.ru/page/354.php>
5. V.A. Kirillin, V.V. Sychev, A.E. Sheindlin "Tekhnicheskaya termodinamika" . - M.: Izdatel'stvo MEI., 2008. - 416 s.
6. Stefanov E.V. Ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha. - SPb.: Izdatel'stvo "Avok Severo-Zapad", 2005. - 400 s.
7. Izel't P., Arndt U. Konditsionirovanie vozdukha // <http://www.technosphaera.ru/lib/book/10?read=1>
8. Uchebnik dlya tekhnologicheskikh fakul'tetov // <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-139-santehnika/20.htm>
9. Ventprom // <http://www.ventprom.spb.ru/#&panel1-2>.
10. Kochenkov N.V. Problema razrabotki nauchno-metodicheskikh osnov sozdaniya sistem konditsio-nirovaniya vozdukha dlya pomeshchenii s raznokharakternymi nagruzkami // Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda. 2014. №3. S. 48 -52.
11. Kochenkov N.V., Kochenkov V.N. Sravnitel'naya otsenka godovykh energozatrat v tsentral'noi i detsentralizovannoi sistemakh konditsionirovaniya vozdukha // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie. 2014. № 3. S. 37-49.
12. Kochenkov N.V., Nemirovskaya V.V. Soderzhatel'naya postanovka zadachi vektornoii optimizatsii dlya sistem konditsionirovaniya vozdukha // Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda. 2012. №1. S. 40 - 43.
13. Tsygankov A.V., Beloglazova (Fonyakova) A.S. Kompleksnaya otsenka effektivnosti sistem konditsionirovaniya vozdukha v pomeshcheniyakh zhilykh zdaniy // Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda. 2011. №4. S. 33 -36.