

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА,  
ОБРАБАТЫВАЕМОГО В СИСТЕМЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ**

**REGULATION HEAT AND HUMIDITY PARAMETERS  
OF THE SUPPLY AIR  
TREATED IN THE AIR CONDITIONING SYSTEM**

*А.Н. ГВОЗДКОВ, О.Ю. СУСЛОВА*

*A.N. GVOZDKOV, O.YU. SUSLOVA*

(Научно-исследовательский институт строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук,  
Волгоградский государственный технический университет)

(Research Institute of Building Physics  
of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,  
Volgograd State Technical University)

E-mail: angvo@mail.ru, oy-sus@mail.ru

*Рассмотрены технологические особенности работы систем кондиционирования, в частности, последовательность реализации процессов обработки воздуха, позволяющая получать требуемые параметры приточного воздуха, подаваемого в рабочую зону.*

*Предлагается метод регулирования тепловлажностных параметров приточного воздуха, обрабатываемого в системе кондиционирования, обеспечивающий более точное поддержание температуры и относительной влажности в рабочей зоне при изменении тепловлажностных нагрузок в помещении.*

*The technological features of air conditioning systems are considered, in particular, the order of realization of air treatment processes, allowing to achieve the required parameters of the supply air, delivered to the working area.*

*A method for regulating the heat and humidity parameters of the supply air processed in the air conditioning system is proposed, which provides a more accurate maintenance of temperature and relative humidity in the working area when changing the heat and humidity loads in the room.*

**Ключевые слова:** кондиционирование воздуха, контактные аппараты, регулирование, тепловлажностные параметры, приточный воздух.

**Keywords:** air conditioning system, contact units, regulation, heat and humidity parameters, supply air.

Эффективность современных технологий текстильного производства во многом зависит от точности поддержания параметров воздуха в рабочей зоне, которые обеспечиваются за счет использования систем кондиционирования воздуха (СКВ).

Требуемые значения параметров приточного воздуха, подаваемого в рабочую зону, определяются как периодом года, так и особенностями технологического процесса и зависят от физико-химических свойств текстильных материалов и изделий.

Так, например, параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений, цехов и участков прядильно-ткацких и отделочных производств варьируются в пределах: температура  $t_{p.зоны} = 20...26^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность  $\varphi_{p.зоны} = 45...65\%$  [1].

При данных значения технологических параметров воздуха в рабочей зоне повышается прочность натуральных волокон, снимается статическое электричество, а также повышается комфорт в рабочей зоне и упрощается переработка волокон и пряжи и др. [2], [3].

Поэтому актуальным является разработка современных схем СКВ и способов обработки воздуха, учитывающих особенности технологических процессов и обеспечивающих возможность регулирования и стабильного поддержания тепловлажностных параметров воздуха в рабочей зоне.

Следует отметить, что получение требуемого значения относительной влажности приточного воздуха при данной температуре может быть достигнуто в результате регулирования его влагосодержания [4], [5].

Технология обработки воздуха в СКВ предусматривает определенную последовательностью реализации процессов изменения его тепловлажностного состояния [6], [7].

Для получения требуемых тепловлажностных параметров приточного воздуха используются различные типы СКВ [8], [9]. Учитывая многообразие технологических процессов и формируемых тепловлажностных условий в рабочей зоне, характерных для текстильного производства, наиболее целесообразным представляется использование многозональных местно-центральных СКВ, включающих центральную установку кондиционирования воздуха (УКВ) и зональные воздухоприготовительные центры (ВПЦ) [9]. Назначением центральной УКВ является подача санитарной нормы наружного воздуха. При этом он очищается, смешивается с рециркуляционным воздухом, а в холодный период года – подогревается в теплообменнике. В ВПЦ производится тепловлажностная обработка воздуха, а также предусматривается возможность индивидуального регулирования температуры и относительной влажности с учетом особенностей форми-

рования тепловлажностных условий в рабочей зоне обслуживаемого помещения.

В ряде случаев предлагается подача приточного воздуха непосредственно в рабочую зону с реализацией принципа вытесняющей вентиляции и схемой организации воздухообмена "снизу – вверх" [10].

При этом выбор оптимальной последовательности обработки воздуха в УКВ связан с учетом затрат энергии на реализацию принятой последовательности процессов обработки воздуха и оказывает существенное влияние на эффективность работы СКВ в целом [6].

Эффективное использование энергии в СКВ может быть достигнуто также за счет регулирования процессов тепло- и влагообмена, протекающих в контактных аппаратах с целью осуществления в них оптимальных режимов обработки воздуха. При этом управление процессами тепло- и влагообмена может быть достигнуто в результате изменения гидродинамических и гигротермических условий взаимодействия воздуха и воды в рабочем пространстве контактного аппарата [11].

Одним из основных направлений реализации управляемых процессов при обработке воздуха в контактных аппаратах, обеспечивающих повышение эффективности СКВ, является решение проблемы получения и регулирования требуемого значения влагосодержания приточного воздуха при минимальных энергетических затратах на обработку наружного воздуха [5], [8].

В ряде случаев дополнительно к централизованной обработке воздуха в СКВ на предприятиях текстильной промышленности используется местное доувлажнение воздуха с помощью форсунок мелкого распыла, обеспечивающих изоэнтальпийное охлаждение и увлажнение воздуха [1], [2], [9].

Таким образом, для условий холодного и теплого периодов года требуемое значение влагосодержания приточного воздуха  $d_p$  может быть получено в результате реализации различной последовательности процессов тепловлажностной обработки воздуха в СКВ (рис. 1 – варианты обработки наружного воздуха в холодный и теплый пе-

риоды года, обеспечивающие получение требуемых параметров ( $t_{п}$ ,  $\varphi_{п}$ ,  $d_{п}$ ) приточного воздуха в СКВ).

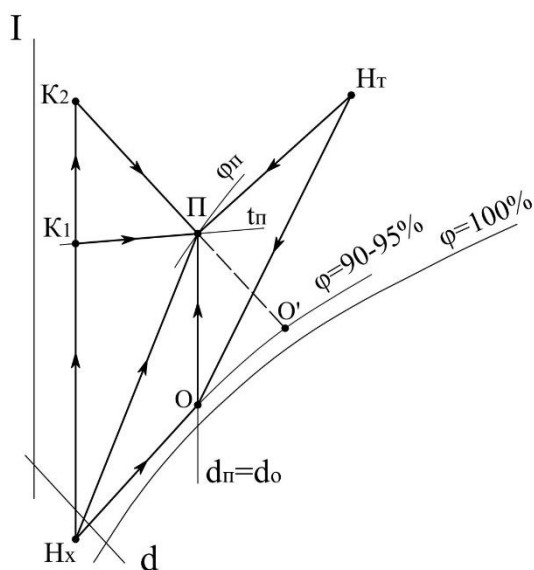


Рис. 1

Алгоритмы реализации процессов обработки воздуха представим в виде:

- холодный период года:

1)  $H_x K_2 + K_2 П$ , то есть наружный воздух состояния  $H_x$  нагревается до состояния в  $K_2$ , а затем обрабатывается в оросительной камере до состояния в  $П$  (при реализации управляемого процесса [5]). Получить параметры воздуха  $П$  можно также при использовании байпаса, в результате смешивания обработанного в оросительной камере ( $O'$ ) и воздуха состояния  $K_2$ );

2)  $H_x K_1 + K_1 П$ , то есть наружный воздух состояния в т.  $H_x$  нагревается до состояния в  $K_1$ , а затем обрабатывается в секции парового увлажнения УКВ до состояния  $П$ ;

3)  $H_x O + O П$ , то есть наружный воздух нагревается и увлажняется в оросительной камере до состояния  $O$ , а затем нагревается в поверхностном теплообменнике до состояния  $П$ ;

4)  $H_x П$ , то есть наружный воздух нагревается и увлажняется в оросительной камере до состояния  $П$ ;

- теплый период года:

5)  $H_T O + O П$ , то есть наружный воздух охлаждается и осушается в поверхностном воздухоохладителе до состояния  $O$ , а затем нагревается до состояния  $П$ ;

6)  $H_T П$ , то есть наружный воздух охлаждается и осушается в поверхностном воздухоохладителе до состояния  $П$ .

В каждом алгоритме обработки воздуха имеют место различные по направленности процессы изменения его состояния, что требует, в свою очередь, различных затрат энергии, типов оборудования и средств автоматизации. При кажущейся простоте каждый вариант имеет свои сложности и требует разработки технологических схем их реализации в СКВ.

Следует отметить, что в холодный период года традиционные решения СКВ обеспечивают возможность получения и регулирования требуемых тепловлажностных параметров приточного воздуха с достаточной степенью точности [1], [5], [8].

Несколько иная ситуация возникает при решении данного вопроса в теплый период года, когда наружный воздух надо охлаждать и осушать, для чего используются поверхностные воздухоохладители [4].

Основная проблема реализации таких процессов в УКВ состоит в сложности поддержания требуемых параметров приточного воздуха, поскольку не учитываются особенности протекания процессов тепло- и влагообмена в контактных аппаратах, в частности, направленность (динамика) их протекания, а также условия достижения предельного равновесного состояния параметров воздуха и воды в условиях развитой турбулентности [12], [13].

Принимая во внимание сказанное выше, были проведены исследования процессов тепло- и влагообмена с позиции теории потенциала влажности, позволившие установить термодинамические закономерности их реализации в контактных аппаратах УКВ [11], [13].

Полученные результаты стали основой для разработки новых подходов к разработке управляемых процессов обработки воздуха в УКВ в теплый период года. На  $I-d$  диаграмме (рис. 2 – процессы регулирования влагосодержания приточного воздуха:  $t_{в}^H$  – начальные параметры воздуха, обрабатываемого в оросительной камере;  $t_{п1}$ ,  $t_{п2}$ ,  $t_{п3}$  – конечные параметры воздуха после обработки в оросительной камере;  $П_1$ ,  $П_2$ ,  $П_3$  – параметры приточного воздуха, подаваем-

мого в рабочую зону) представлен способ поддержания тепловлажностных параметров приточного воздуха при регулировании его влагосодержания  $d$ .

При обработке наружного воздуха в контактном аппарате УКВ необходимые параметры приточного воздуха (точка  $\Pi_1$ ) обеспечиваются получением требуемого влагосодержания  $d_1 = \text{const}$ .

Протекание процесса тепло- и влагообмена будет осуществляться по кривой 1 (рис. 2) при соответствующем значении коэффициента орошения  $V_1$  и соотношении начальных параметров воздуха  $t_{в}^H, \varphi_{в}^H$  и воды  $t_{ж1}^H$ .

При постоянных начальных параметрах контактирующих сред и увеличении коэффициента орошения до значения  $V_2$  направленность протекания процесса будет определяться кривой 2', а параметры приточного воздуха достигнут значений в точке  $t'_{п2}$ . В этом случае параметры воздуха в рабочей зоне будут определяться точкой  $\Pi_2$  при более низком значении влагосодержания.

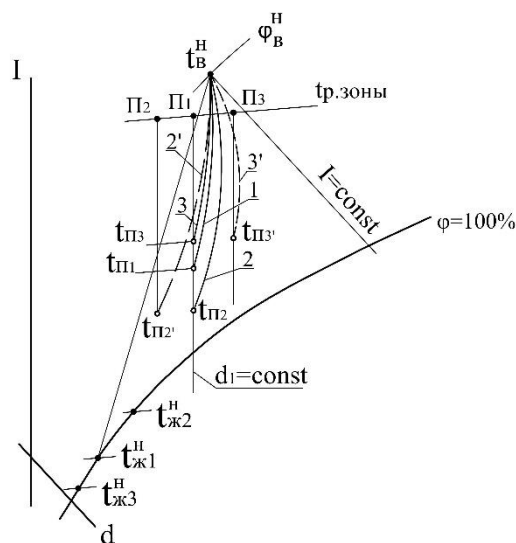


Рис. 2

Если одновременно с увеличением коэффициента орошения до  $V_2$  увеличить начальную температуру воды до некоторого значения  $t_{ж2}^H$ , то в результате процесс тепло- и влагообмена будет протекать по кривой 2, а параметры обрабатываемого воздуха достигнут параметров в точке  $t_{п2}$  при  $d_1 = \text{const}$ .

Таким образом, управляя процессом тепловлажностной обработки воздуха, в результате пропорционального повышения началь-

ной температуры воды до  $t_{ж2}^H$  и увеличения коэффициента орошения до  $V_2$  исключается изменение конечного влагосодержания приточного воздуха, что, в конечном итоге, позволяет повысить точность поддержания параметров приточного воздуха в рабочей зоне, в частности, его влагосодержание.

Аналогичным образом при уменьшении коэффициента орошения до  $V_3$  получение требуемых параметров воздуха обеспечивается за счет понижения начальной температуры воды до  $t_{ж3}^H$ . Этим обеспечивается требуемая направленность протекания процесса тепловлагообмена и достижение значения влагосодержания  $d_1 = \text{const}$ .

На рис. 3 представлена принципиальная схема регулирования влагосодержания приточного воздуха в ВПЦ (1 – оросительная камера; 2 – трубопровод отработанной воды; 3 – поддон; 4 – регулирующий клапан; 5 – подающий трубопровод; 6 – датчик температуры воздуха; 7 – стояк с форсунками орошения; 8 – циркуляционный насос; 9 – датчик влажности воздуха; 10 – регулирующий клапан; 11 – трубопровод холодной воды; 12 – регулирующий клапан).

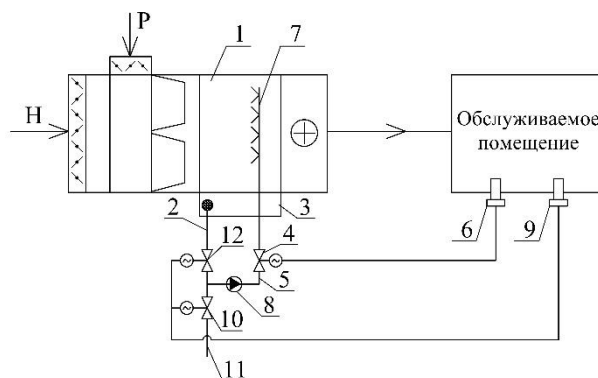


Рис. 3

Требуемая температура воздуха в рабочей зоне помещения поддерживается с помощью регулирующего клапана 4 (рис. 3) по сигналу датчика температуры 6, а требуемая относительная влажность – регулирующими клапанами 10 и 12 в соответствии с сигналом датчика влажности 9.

При увеличении тепло- и влаговыделений в обслуживаемом помещении и повышении температуры в рабочей зоне  $t_{р.зоны}$  по сигналам датчика 6 в результате открытия

регулирующего клапана 4 увеличивается расход воды, распыляемой в форсуночной камере.

Если при этом произойдет отклонение величины влагосодержания воздуха в рабочей зоне помещения, то по сигналу датчика 9 одновременно с увеличением коэффициента орошения В повышается начальная температура воды, подаваемой на распыление посредством увеличения расхода нагретой воды с помощью открытия регулирующего клапана 12 и уменьшения расхода охлажденной воды с помощью регулирующего клапана 10. При этом конечные параметры воздуха (после оросительной камеры 1) принимают состояние в точке  $t_{п2}$  при более низкой температуре, чем в точке  $t_{п1}$  при сохранении постоянного влагосодержания приточного воздуха. Таким образом будет обеспечено поддержание требуемых параметров воздуха в рабочей зоне помещения (т. П<sub>1</sub>).

Аналогично реализуется процесс регулирования, если уменьшаются тепло- и влаговыделения в рабочей зоне обслуживаемого помещения. При этом одновременно с уменьшением расхода распыляемой воды понижается ее начальная температура. Параметры воздуха в помещении (т. П<sub>1</sub>) поддерживаются при новой, более высокой температуре воздуха, обработанного в оросительной камере (т.  $t_{п3}$ ).

Следует отметить, что изменением коэффициента орошения и начальной температуры воды достигается требуемая направленность процесса обработки воздуха, что обеспечивает точность поддержания параметров воздуха в помещении.

## В ы в о д ы

Разработан метод регулирования влагосодержания приточного воздуха в СКВ применительно к условиям теплого периода года, учитывающий термодинамические закономерности протекания процессов тепло- и влагообмена в контактных аппаратах и позволяющий повысить точность поддержания параметров воздуха в рабочей зоне помещений.

1. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. – М.: Стройиздат, 1982.

2. Вентиляция, отопление и кондиционирование воздуха на текстильных предприятиях / Под ред. Талиева В.Н. – М.: Легпромбытиздат, 1985.

3. Сорокин Н.С. Вентиляция, отопление и кондиционирование воздуха на текстильных предприятиях. – М.: Легкая индустрия, 1974.

4. Богословский В.Н., Поз М.Я. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1983.

5. Рекомендации по расчету установок кондиционирования воздуха и вентиляции с управляемыми процессами адиабатной обработки воздуха / ЦНИИЭП инженерного оборудования. – М.: Стройиздат, 1985.

6. Креслин А.Я. Автоматическое регулирование систем кондиционирования воздуха. – М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1972.

7. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1990.

8. Мурашко В.П. Системы кондиционирования воздуха. Теория и практика. – М.: ООО "Книга по требованию", 2017.

9. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. – М.: Евроклимат, 2003.

10. Ерёмкин А.И., Кирпичева О.А. Локальная система технологического кондиционирования воздуха для различных видов производств текстильных предприятий // Изв. вузов. Строительство. – 1996, №3. С. 80...83.

11. Гвоздков А.Н. Тепло- и влагообмен в системе "воздух-вода" с позиции теории потенциала влажности // Изв. вузов. Строительство. – 2015, №11-12(683-684). С. 31...41.

12. Кокорин О.Я. Установки кондиционирования воздуха. – М.: Машиностроение, 1978.

13. Богословский В.Н., Гвоздков А.Н. Применение потенциала влажности к расчету тепловлагообмена между воздухом и жидкостью // Водоснабжение и санитарная техника. – 1985, № 10. С. 8...10.

## R E F E R E N C E S

1. Barkalov B.V., Karpis E.E. Konditsionirovanie vozdukh v promyshlennykh, obshchestvennykh i zhi-lykh zdaniyakh. – M.: Stroyizdat, 1982.

2. Ventilyatsiya, otoplenie i konditsionirovanie voz-dukha na tekstil'nykh predpriyatiyakh /Pod red. Talieva V.N. – M.: Legprombytizdat, 1985.

3. Sorokin N.S. Ventilyatsiya, otoplenie i kondi-tionirovanie vozdukh na tekstil'nykh predpriyatiyakh. – M.: Legkaya industriya, 1974.

4. Bogoslovskiy V.N., Poz M.Ya. Teplofizika apparatov utilizatsii tepla sistem otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha. – M.: Stroyizdat, 1983.
5. Rekomendatsii po raschetu ustanovok konditsionirovaniya vozdukha i ventilyatsii s upravlyaemymi protsessami adiabatnoy obrabotki vozdukha / TsNIIEP inzhenernogo oborudovaniya. – M.: Stroyizdat, 1985.
6. Kreslin' A.Ya. Avtomaticheskoe regulirovanie sistem konditsionirovaniya vozdukha. – M.: Izd-vo lit-ry po stroitel'stvu, 1972.
7. Rymkevich A.A. Sistemnyy analiz optimizatsii obshcheobmennoy ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha. – M.: Stroyizdat, 1990.
8. Murashko V.P. Sistemy konditsionirovaniya vozdukha. Teoriya i praktika. – M.: OOO "Kniga po trebovaniyu", 2017.
9. Belova E.M. Sistemy konditsionirovaniya vozdukha s chillerami i fenkoylami. – M.: Evroklimat, 2003.
10. Eremkin A.I., Kirpicheva O.A. Lokal'naya sistema tekhnologicheskogo konditsionirovaniya vozdukha dlya razlichnykh vidov proizvodstv tekstil'nykh predpriyatiy // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 1996, №3. S.80...83.
11. Gvozdkov A.N. Teplo- i vlagoobmen v sisteme "vozdukh-voda" s pozitsii teorii potentsiala vlazhnosti // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 2015, №11-12(683-684). S.31...41.
12. Kokorin O.Ya. Ustanovki konditsionirovaniya vozdukha. – M.: Mashinostroenie, 1978.
13. Bogoslovskiy V.N., Gvozdkov A.N. Primenenie potentsiala vlazhnosti k raschetu teplovлагообмена mezhdu vozdukhom i zhidkost'yu // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – 1985, № 10. S. 8...10.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН.  
Поступила 18.06.19.

---