

УДК 697.911

А. Н. Гвоздков, О. Ю. Суслова

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА И ВЕНТИЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА В КОНТАКТНЫХ АППАРАТАХ

Рассматриваются пути совершенствования систем кондиционирования воздуха и вентиляции (СКВиВ) с целью повышения их теплоэнергетической эффективности. Одним из важных направлений является разработка методологии реализации энергосберегающих процессов обработки воздуха в контактных аппаратах СКВиВ. Для обеспечения эффективной работы СКВиВ авторами предлагается использовать термодинамические закономерности протекания процессов тепло- и влагообмена в рабочем пространстве контактных аппаратов, установленные на основе теории потенциала влажности. Это открывает новые возможности совершенствования контактных аппаратов и режимов их работы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: система кондиционирования воздуха, энергетическая эффективность, процессы тепло- и влагообмена, контактные аппараты.

This article discusses ways to improve the HVAC systems in order to increase their heat and energy efficiency. One of the important directions of research in this regard is the development of methodology for the implementation of energy-saving air-handling processes in the contacting units of HVAC systems. In order to ensure efficient operation of HVAC systems, the authors propose to use the thermodynamic laws of the processes of heat and moisture exchange in the workspace contacting units, established on the basis of the theory of humidity potential. This opens up new opportunities for improving contacting units and their operation modes.

Key words: air conditioning system, energy efficiency, processes of heat and moisture exchange, contacting units.

Одним из путей совершенствования систем кондиционирования воздуха и вентиляции (СКВиВ) является повышение их теплоэнергетической эффективности, которая может быть достигнута как за счет оптимизации режимов работы, обеспечивающей требуемую последовательность процессов обработки воздуха, так и внедрения энергоэффективных систем с минимальным потреблением энергии.

Данное направление повышения эффективности СКВиВ реализовано в настоящее время в виде различных методов их регулирования, основными из которых являются:

регулирование по температуре точки росы, при котором наружный воздух в процессе обработки в контактном аппарате доводится до параметров точки росы приточного воздуха;

регулирование по оптимальному режиму, позволяющему исключить нерациональное потребление энергии, в том числе и при использовании рециркуляции;

количественное регулирование СКВ путем изменения расхода обрабатываемого воздуха.

В основе всех способов лежит анализ протекания процессов обработки воздуха в СКВиВ, включая тепло- и влагообмен, с использованием $I-d$ -диаграммы [1].

Наибольшее распространение получил метод оптимальных режимов, опирающийся на термодинамические подходы для оценки совершенства различной последовательности обработки воздуха с точки зрения затрат энергии, получивший свое развитие в работах А. А. Рымкевича, который доказал необходимость и возможность использования системного подхода при анализе работы СКВиВ [2].

Требуемые параметры приточного воздуха можно обеспечить за счет различной последовательности процессов его обработки в кондиционере.

В качестве критерия оценки той или иной последовательности режимов работы элементов СКВиВ обычно принимают минимальный неизбежный в данных условиях расход энергии.

Следует отметить, что эффективное использование энергии в СКВиВ может быть достигнуто как за счет оптимизации последовательности осуществления процессов обработки воздуха, так и за счет регулирования самих процессов тепло- и влагообмена, протекающих в контактных аппаратах, с целью осуществления в них оптимальных с энергетической точки зрения режимов обработки приточного воздуха.

Были предприняты попытки реализации энергосберегающих управляемых процессов тепло- и влагообмена за счет изменения поверхности взаимодействия воздуха и воды в рабочем пространстве контактного аппарата, что достигалось изменением давления воды перед специальными широкофакельными форсунками.

Известны способы управления изохэнтальпийными процессами тепло- и влагообмена, осуществляемыми при постоянной температуре воды.

Основные положения, раскрывающие термодинамическую сущность управляемых процессов при адиабатном увлажнении воздуха, а также конкретные схемы их автоматизации приведены в [3, 4].

При реализации управляемых процессов в ряде случаев возникает необходимость регулирования одного из параметров (например, влагосодержание приточного воздуха) с целью поддержания постоянного его значения. Решение данного вопроса следует рассматривать с учетом направленности протекания процессов, учитывая динамику изменения параметров воздуха по длине контактного аппарата.

В теории контактных аппаратов для характеристики эффективности процессов тепло- и влагообмена часто используется отношение Льюиса (Le), а также его аналог — число единиц переноса явного и полного тепла (NTU), в которых учитываются результирующие значения потоков теплоты и влаги [5]. При этом отклонение отношения Льюиса от теоретического значения объясняется двойственным характером процесса переноса влаги (в процессах с понижением энтальпии обрабатываемого воздуха) или теплоты (в процессах с повышением энтальпии) и является косвенной характеристикой интенсивности одновременного протекания процессов тепло- и влагообмена в контактном аппарате [5].

Для оценки интенсивности протекания процессов обработки приточного воздуха может быть использована величина [6]

$$\Lambda = \alpha_l F_{\text{ж}}, \quad (1)$$

где α_l — коэффициент теплообмена, Вт/м²; $F_{\text{ж}}$ — поверхность контакта, м².

Величина Λ определяется на основе результатов экспериментальных исследований в режиме изохлальной увлажнителя воздуха. При этом для определения относительных параметров температур следует использовать выражения

$$\theta_t = 1 - \exp(-F_0'), \quad (2)$$

$$F_0' = \frac{\alpha_t F_{ж}}{c_v G_v} = \frac{\Lambda}{c_v G_v}, \quad (3)$$

где F_0' — модифицированный критерий Фурье; c_v — теплоемкость воздуха, Дж/кг·К; G_v — массовый расход обрабатываемого воздуха, кг/ч.

Таким образом, одним из важнейших является вопрос разработки методологии реализации энергосберегающих процессов обработки воздуха в контактных аппаратах СКВиВ.

Разработка данного направления требует четких представлений о критериях оценки термодинамической эффективности обменных процессов, об особенностях протекания процессов в контактных аппаратах, в частности о динамике развития процессов тепло- и влагообмена, об условиях достижения термодинамического равновесия конечных параметров взаимодействующих сред и т. д.

Учитывая, что наибольшее распространение имеют политропические процессы обработки воздуха, в частности охлаждения и сушения воздуха, было проведено их теоретическое и экспериментальное изучение с позиции теории потенциала влажности.

Применение теории потенциала влажности позволило определить состояние термодинамического равновесия конечных параметров воздуха и воды в контактных аппаратах. В частности, было установлено, что при реализации процессов охлаждения и осушения воздуха конечные параметры воздуха и воды стремятся к достижению состояния $\Theta = \text{const}$ в области влажного воздуха в диапазоне $\varphi = 80 \dots 100\%$ на $I-d-\Theta$ -диаграмме [7, 8].

Особенностью работы контактных аппаратов является изменение в широком диапазоне начальных параметров и расходов контактирующих сред. Это приводит к нарушению оптимальных условий взаимодействия и снижению интенсивности протекания процессов тепло- и влагообмена. Поэтому критерием оптимального режима работы контактных аппаратов является создание и поддержание в их рабочем пространстве таких условий взаимодействия, при которых обеспечивается достижение термодинамического равновесия конечных параметров воздуха и воды.

Для анализа протекания процессов тепло- и влагообмена была использована модель рабочего пространства контактного аппарата (рис. 1), включающая характерные зоны (L_I , L_{II} , L_{III}) изменения параметров воздуха по длине рабочего пространства контактного аппарата.

Протекание процессов тепло- и влагообмена характеризуется гигротермическими и гидродинамическими условиями взаимодействия воздуха и воды. Гигротермические условия определяются сочетанием начальных параметров воздуха (t_1 , d_1 , Θ_1) и воды (t_2 , Θ_2), а гидродинамические определяются

соотношением расходов воздуха (G_1) и воды (G_2), т. е. величиной коэффициента орошения B .

Совокупность данных условий определяет режим работы контактного аппарата, в том числе динамику изменения параметров воздуха по длине контактного аппарата.

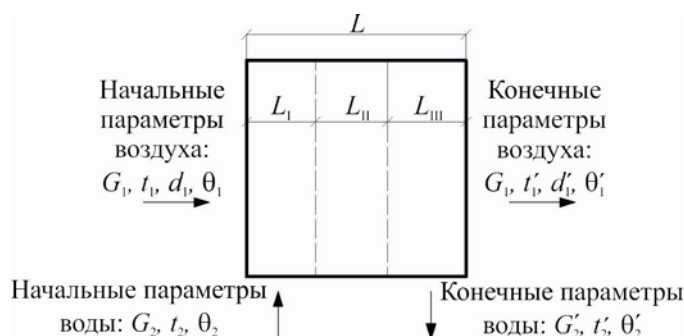


Рис. 1. Модель рабочего пространства контактного аппарата

Необходимо отметить, что в рабочем пространстве контактных аппаратов имеет место сложный характер взаимодействия воздуха и воды [4]. Это не позволяет дать однозначную оценку эффективности процессов тепло- и влагообмена и требует проведения дополнительных исследований.

На рис. 2 показаны возможные направления протекания процессов тепло- и влагообмена (линии A и D) до достижения требуемых конечных параметров воздуха (t_1' , d_1' , Θ_1') в режиме охлаждения и осушения воздуха. При этом конечные параметры воздуха и воды находятся на линии $\Theta = \text{const}$.

Так, в случае протекания процесса по линии A (рис. 2) по всей длине (или поверхности тепло- и влагообмена) контактного аппарата имеет место расчетный режим обработки воздуха — охлаждение и осушение. Такой режим работы контактного аппарата можно назвать «идеальным», его реализация которого представляет определенные трудности, связанные со значительными затратами энергии на создание требуемой поверхности контакта и обеспечение требуемых гидродинамических условий взаимодействия в условиях предельных значений коэффициента орошения и др. В реальных условиях протекание процессов происходит по кривой D (рис. 2), откуда видно, что расчетный режим обработки воздуха имеет место лишь в третьей зоне (L_{III}). При этом в первой зоне (L_I) протекает процесс, близкий к $I = \text{const}$, а во второй зоне (L_{II}) — близкий к $d = \text{const}$.

То есть расчетный режим обработки воздуха (охлаждение и осушение) будет наблюдаться только на части длины (или поверхности тепло- и влагообмена) контактного аппарата, что снижает результирующие значения обменных коэффициентов. Следовательно, будут иметь место более низкие значения средних показателей интенсивности протекания процессов тепло- и влагообмена по отношению к «идеальному» режиму, а также будет наблюдаться отклонение отношения Льюиса от его теоретического значения.

Таким образом, направление протекания процессов определяет эффективность работы контактных аппаратов, а ее повышение может быть достигнуто за счет сокращения зон L_I и L_{II} при сохранении оптимальных условий

взаимодействия, определяемых достижением состояния $\Theta = \text{const}$ конечных параметров воздуха и воды.

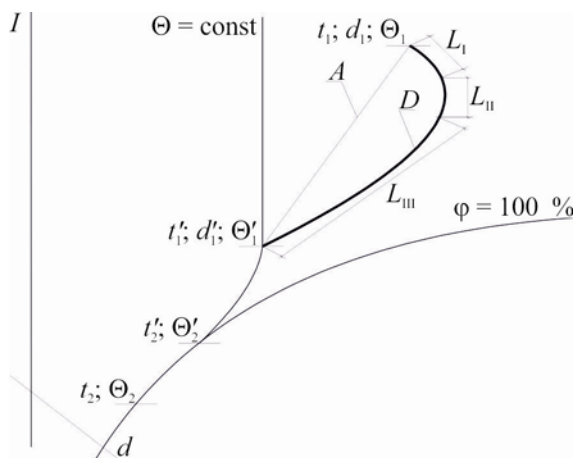


Рис. 2. Графическое изображение на $I-d-\Theta$ -диаграмме изменения параметров воздуха и воды в контактном аппарате

На основе результатов исследований, полученных авторами, был разработан способ управления процессами тепло- и влагообмена, основанный на том, что одновременно с процессом регулирования давления воды перед распылителями изменяют ее начальную температуру пропорционально площади поверхности контакта между воздухом и водой.

Учитывая особенности протекания процессов тепло- и влагообмена в контактных аппаратах, на рис. 3 представлены кривые (1, 2 и 3) изменения параметров воздуха по длине контактного аппарата при осуществлении регулирования влагосодержания (d_1') воздуха на выходе из контактного аппарата.

При этом направление изменения параметров воздуха по кривой 1 имеет место при некотором значении коэффициента орошения $B_1 = G_2/G_1$ и постоянных значениях начальных параметров воздуха (t_1, d_1, Θ_1) и воды (t_2, Θ_2).

При увеличении коэффициента орошения до величины B_2 ($B_2 > B_1$) при тех же начальных параметрах воздуха и воды будет иметь место направление процесса по кривой 2, а конечные параметры воздуха переместятся в точку 1'' и будут иметь значения t_1'', d_1'', Θ_1'' . То есть произойдет отклонение влагосодержания приточного воздуха от расчетного значения d_1' в сторону более низких значений: $\Delta d = d_1'' - d_1'$.

Если же одновременно с возрастанием коэффициента орошения до B_2 увеличить начальную температуру воды до t_2'' ($t_2'' > t_2$), то в результате этого будет иметь место направление процесса обработки воздуха по кривой 3 (рис. 3) до параметров $t_1''', d_1''', \Theta_1'''$, что обеспечит достижение требуемого значения влагосодержания приточного воздуха $d_1''' = d_1'$.

Таким образом, в результате пропорционального повышения начальной температуры воды и увеличения коэффициента орошения обеспечивается постоянство конечного влагосодержания приточного воздуха и повышается точность поддержания параметров воздуха в рабочей зоне помещения.

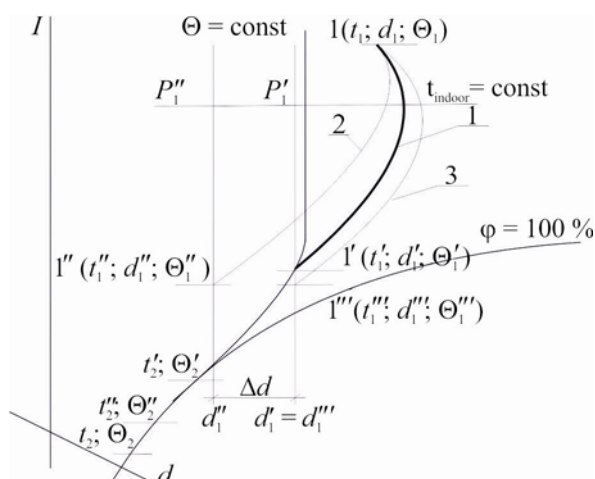


Рис. 3. Графическая интерпретация метода регулирования влагосодержания приточного воздуха

Аналогичным образом производится регулирование параметров приточного воздуха в случае, если его влагосодержание отклоняется в сторону больших значений.

Подход с позиции теории потенциала влажности, учитывающий особенности протекания процессов тепло- и влагообмена, открывает новые возможности для моделирования условий взаимодействия за счет конструктивных решений рабочего пространства, обеспечивающих наиболее эффективные режимы обработки воздуха.

Выводы

1. В современных условиях решение вопросов повышения энергетической эффективности СКВиВ на основе разработки методологии реализации энергосберегающих процессов обработки воздуха в контактных аппаратах приобретает особую актуальность, так как является основой для определения путей их совершенствования и повышения термодинамической эффективности.

2. При решении вопросов повышения эффективности СКВиВ необходимо учитывать термодинамические особенности протекания процессов тепло- и влагообмена в рабочем пространстве контактных аппаратов.

3. Предлагается метод регулирования параметров приточного воздуха, в частности влагосодержания, позволяющий обеспечивать при его обработке в контактном аппарате, оптимальные условия взаимодействия и наиболее эффективное с термодинамической точки зрения протекание процессов тепло- и влагообмена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпис Е. Е. Повышение эффективности работы систем кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1977. 192 с.
2. Рымкевич А. А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1990. 300 с.
3. Рекомендации по расчету установок кондиционирования воздуха и вентиляции с управляемыми процессами адиабатной обработки воздуха. М.: Стройиздат, 1985.
4. Зусманович Л. М., Брук М. И. Термодинамические основы энергосберегающей технологии обработки воздуха // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 10. С. 15—17.

5. Гвоздков А. Н. Общая характеристика процессов тепло- и влагообмена в контактных аппаратах и методов их расчета // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2006. Вып. 6 (21). С. 148—153.
 6. Богословский В. Н., Поз М. Я. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1983.
 7. Богословский В. Н., Гвоздков А. Н. Применение потенциала влажности к расчету тепловлагообмена между воздухом и жидкостью // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. С. 8—10.
 8. Bogoslovsky V. N., Gvozdkov A. N. New improvement possibilities in HVAC system contacting (air-water) units // Proceeding HB'94. Budapest. Vol. 1. P. 381—384.
1. Karpis E. E. Povyshenie effektivnosti raboty sistem konditsionirovaniya vozdukha. M.: Stroizdat, 1977. 192 s.
 2. Rymkevich A. A. Sistemnyi analiz optimizatsii obshcheobmennoi ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha. M.: Stroizdat, 1990. 300 s.
 3. Rekomendatsii po raschetu ustanovok konditsionirovaniya vozdukha i ventilyatsii s upravlyaemyimi protsessami adiabatnoi obrabotki vozdukha. M.: Stroizdat, 1985.
 4. Zusmanovich L. M., Bruk M. I. Termodinamicheskie osnovy energosberegayushchei tekhnologii obrabotki vozdukha // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 1985. № 10. S. 15—17.
 5. Gvozdkov A. N. Obshchaya kharakteristika protsessov teplo- i vlagoobmena v kontaktnykh apparatakh i metodov ikh rascheta // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universite-ta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2006. Vyp. 6 (21). S. 148—153.
 6. Bogoslovskii V. N., Poz M. Ya. Teplofizika apparatov utilizatsii tepla sistem otopeniya, venti-lyatsii i konditsionirovaniya vozdukha. M.: Stroizdat, 1983.
 7. Bogoslovskii V. N., Gvozdkov A. N. Primenenie potentsiala vlazhnosti k raschetu teplovlagoobme-na mezhdu vozdukhom i zhidkost'yu // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 1985. S. 8—10.
 8. Bogoslovsky V. N., Gvozdkov A. N. New improvement possibilities in HVAC system contacting (air-water) units // Proceeding HB'94. Budapest. Vol. 1. P. 381—384.

© Гвоздков А. Н., Сулова О. Ю., 2014

Поступила в редакцию
в сентябре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Гвоздков А. Н., Сулова О. Ю. К вопросу повышения энергетической эффективности систем кондиционирования воздуха и вентиляции на основе регулирования режимов обработки воздуха в контактных аппаратах // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 3(34). Ст. 3. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

Gvozdkov A. N., Suslova O. Yu. [On the problem of increasing energy efficiency of HVAC systems based on the regulation of the processing mode in contacting units]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 3(34), paper 3. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>