

Регулирование влагосодержания приточного воздуха в многозональных СКВ общественных зданий

А.Н. Гвоздков, О.Ю. Сулова, М.А. Королев, В.И. Решетников

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Для поддержания заданной температуры и относительной влажности приточного воздуха разработана схема многозональной системы кондиционирования воздуха с зональными воздухоприготовительными центрами, обеспечивающими возможность тепловлажностной обработки приточного воздуха. Рассмотрены особенности регулирования влагосодержания приточного воздуха в СКВ и проведен анализ процессов обработки воздуха с использованием построений на *I-d* диаграмме для теплого и холодного периодов года. Описан способ регулирования влагосодержания приточного воздуха, позволяющий более точно поддерживать параметры воздуха при изменении тепловлажностных нагрузок в обслуживаемых помещениях.

Ключевые слова: многозональная СКВ, зональный воздухоприготовительный центр, тепло- и влагообмен, *I-d*-диаграмма, регулирование влагосодержания.

Одной из важнейших задач систем кондиционирования воздуха (СКВ) является обеспечение и поддержание в зданиях внутренних параметров микроклимата в пределах оптимальных норм, благоприятных для пребывания людей, реализации технологических процессов и др. (СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование).

Если говорить об общественных зданиях (музеи, банки, офисные здания, учебные заведения и др.), то обычно принимается во внимание обеспечение требуемых тепловлажностных условий (температуры и относительной влажности), исключающих возможность значительных колебаний параметров воздуха в рабочей зоне помещений, что регламентируется соответствующими нормами (ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях).

Однако, при этом должны учитываться такие факторы, как подвижность воздуха, схема организации воздухообмена, освещенность и чистота воздуха, содержание вредных веществ в приточном воздухе, сезонность изменения внешних климатических условий, а также режим его работы и др. [1].

Для поддержания требуемых параметров микроклимата используются различные типы центральных СКВ, отличающиеся большим многообразием принципиальных технологических схем обработки воздуха [2 - 4].

Учитывая, что помещения общественных зданий выполняют различные функции и характеризуются различными температурно-влажностными условиями, наибольшее распространение получили многозональные СКВ с зональными воздухонагревателями, с вентиляторными и эжекционными доводчиками, в которых воздух нагревается до необходимой температуры [5].

Главный недостаток таких СКВ состоит в отсутствии возможности поддержания заданной относительной влажности приточного воздуха в каждом помещении [2]. Здесь следует отметить, что требуемая относительная влажность приточного воздуха при данной температуре достигается за счет регулирования его влагосодержания.

Учитывая данное обстоятельство, на рис.1 представлена принципиальная схема СКВ с зональными воздухоприготовительными центрами (ВПЦ), обеспечивающими возможность тепловлажностной обработки воздуха с целью поддержания требуемых значений температуры и относительной влажности приточного воздуха [6].

Особенностью этой системы является использование центрального кондиционера (I), обеспечивающего подачу санитарной нормы наружного воздуха. Обрабатываемый воздух очищается в фильтрах грубой (2) и тонкой (4) очистки, смешивается с рециркуляционным воздухом, в холодный период года подогревается в поверхностном теплообменнике (6).

Окончательная обработка приточного воздуха осуществляется в зональных ВПЦ (II) и обеспечивает возможность индивидуального регулирования температуры и относительной влажности, в соответствии с

особенностями формирования тепловлажностного режима в обслуживаемом помещении [4].

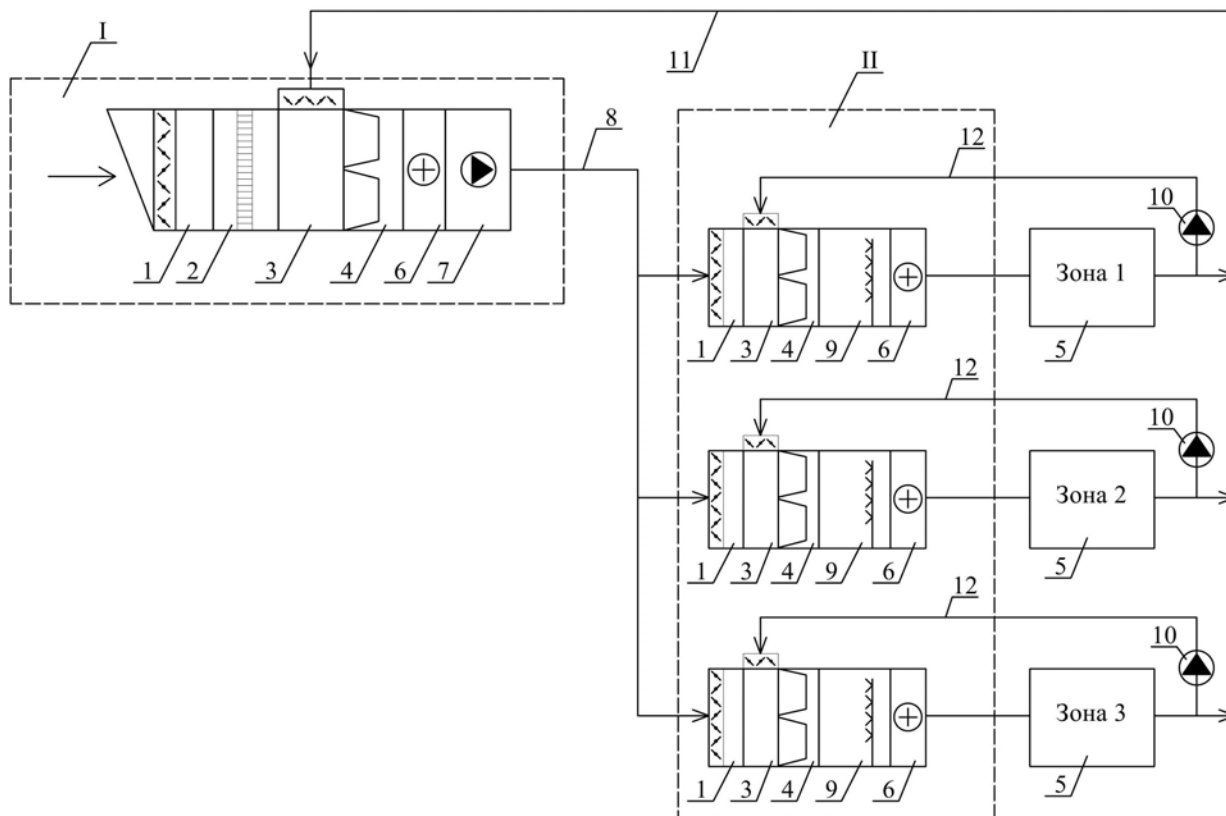


Рис.1. – Принципиальная схема СКВ с зональными воздухоприготовительными центрами: I – центральный кондиционер; II – зональный воздухоприготовительный центр; 1 – воздухоприемная секция с жалюзийным клапаном; 2 – фильтр грубой очистки, 3 – смесительная секция; 4 – фильтр тонкой очистки; 5 – обслуживаемое помещение; 6 – воздухонагреватель (поверхностный теплообменник); 7 – приточный вентилятор; 8 – приточный воздуховод; 9 – оросительная (форсуночная) камера; 10 – зональный рециркуляционный вентилятор; 11, 12 – рециркуляционный воздуховод.

Использование рециркуляции предусматривается как в центральном кондиционере, так и в зональных ВПЦ, что позволяет значительно снизить

расход теплоты и холода на обработку приточного воздуха и повысить эффективность работы СКВ [7].

Рассмотрим особенности обработки приточного воздуха в многозональной СКВ в теплый и холодный периоды года, обеспечивающие возможность регулирования его влагосодержания.

В холодный период года, как известно, наружный воздух необходимо нагревать и увлажнять [8]. Для увлажнения воздуха в центральных кондиционерах СКВ применяют устройства различных модификаций, в частности, секции с оросительными (форсуночными) камерами, с паровым увлажнением и др.

Для нагрева воздуха используются воздухонагреватели с возможностью качественно-количественного регулирования процессов теплоотдачи.

Наиболее широкое применение получило увлажнение воздуха в холодный период года на основе реализации изохлальных процессов в оросительных (форсуночных) камерах.

В этом случае регулирование режимов работы воздухонагревателей (3, 5) и камеры орошения (4) в зонах 1, 2, 3 (рис.2) осуществляется по методу температуры «точки росы» приточного воздуха [9].

Как видно из рис.2, получение требуемого значения влагосодержания приточного воздуха (линии $d_{п1}$, $d_{п2}$ и $d_{п3}$) достигается за счет различной степени нагрева наружного воздуха (т.Н) в воздухонагревателе (3) (процессы Н-К₁, Н-К₂ и Н-К₃) и последующей его изохлальной обработкой в камере орошения (4) (процессы К₁-О₁, К₂-О₂, К₃-О₃). При использовании рециркуляции (процесс Н-В), степень нагрева в воздухонагревателе (3) уменьшается (процессы С-К_{1с}, С-К_{2с} и С-К_{3с}).

В последнее время для увлажнения воздуха получили применение специальные устройства, так называемые паровые увлажнители [3].

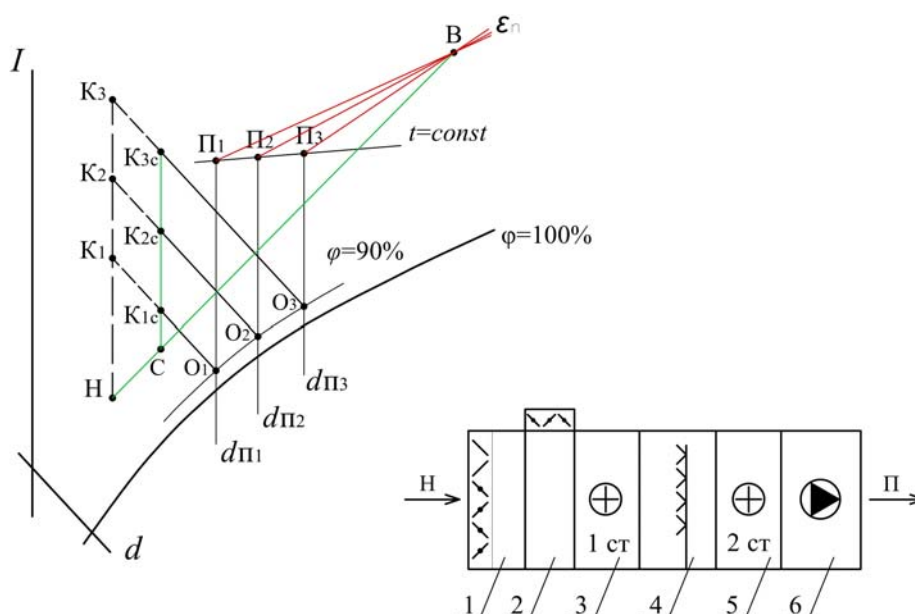


Рис.2. – Регулирование влагосодержания приточного воздуха по методу температуры «точки росы»: 1 – воздухоприемная секция с жалюзийным клапаном; 2 – смесительная секция; 3 –воздухонагреватель (1 ступень), 4 – оросительная (форсуночная) камера, 5 – воздухонагреватель (2 ступень), 6 – приточный вентилятор.

Увлажнение воздуха паром позволяет достаточно точно контролировать его влагосодержание, однако в то же время возникают трудности, связанные с осаждением солей, засорением электродов и трубопроводов, что требует постоянного обслуживания парогенераторов и снижает надежность СКВ в целом [3].

Таким образом, известные способы регулирования влагосодержания в СКВ в холодный период года позволяют достаточно стабильно поддерживать требуемые параметры приточного воздуха.

Отличительной особенностью регулирования влагосодержания приточного воздуха в теплый период года является то, что наружный воздух необходимо охлаждать и осушать. Для этого в центральных кондиционерах в настоящее время используются поверхностные воздухоохладители.

Схема процесса регулирования влагосодержания приточного воздуха представлена на $I-d$ -диаграмме в следующем виде (рис.3):

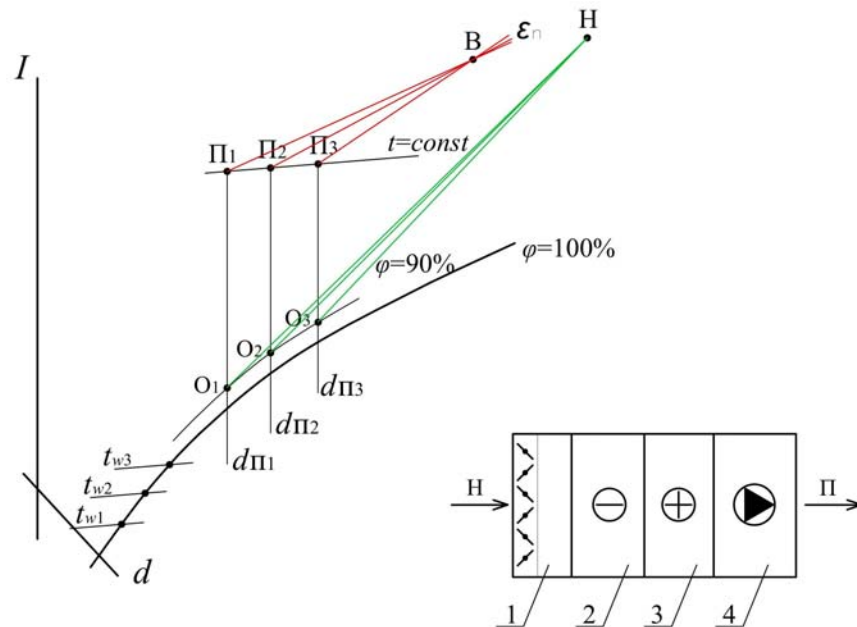


Рис.3. – Регулирование влагосодержания приточного воздуха в теплый период года: 1 – воздухоприемная секция с жалюзийным клапан, 2 – поверхностный воздухоохладитель, 3 - воздухоподогреватель, 4 – приточный вентилятор.

Регулируя направление процесса обработки воздуха в поверхностном воздухоохладителе (2) (линии $H-O_1$, $H-O_2$, $H-O_3$) за счет изменения начальной температуры холодной воды и ее расхода, подаваемой в трубное пространство (t_{w1} , t_{w2} , t_{w3}), достигается требуемое значение влагосодержания приточного воздуха ($d_{п1}$, $d_{п2}$, $d_{п3}$), подаваемого в помещение.

Однако, использование поверхностных воздухоохладителей не позволяет стабильно поддерживать влагосодержание приточного воздуха ($d_{п}$), поскольку не учитывается динамика хода процессов тепло- и влагообмена и условия достижения предельного равновесного состояния параметров воздуха и воды, особенно в условиях развитой турбулентности [10].

Таким образом, регулирование влагосодержания приточного воздуха в теплый период года имеет значительные трудности и требует разработки новых методов, учитывающих термодинамические закономерности протекания процессов тепло- и влагообмена в контактных устройствах [11].

Принимая во внимание сказанное выше, был разработан способ обработки приточного воздуха в теплый период года, позволяющий регулировать и поддерживать требуемые значения его влагосодержания при изменении тепловлажностных нагрузок в обслуживаемом помещении.

На $I-d$ -диаграмме (рис. 4) представлен способ регулирования влагосодержания (d) приточного воздуха.

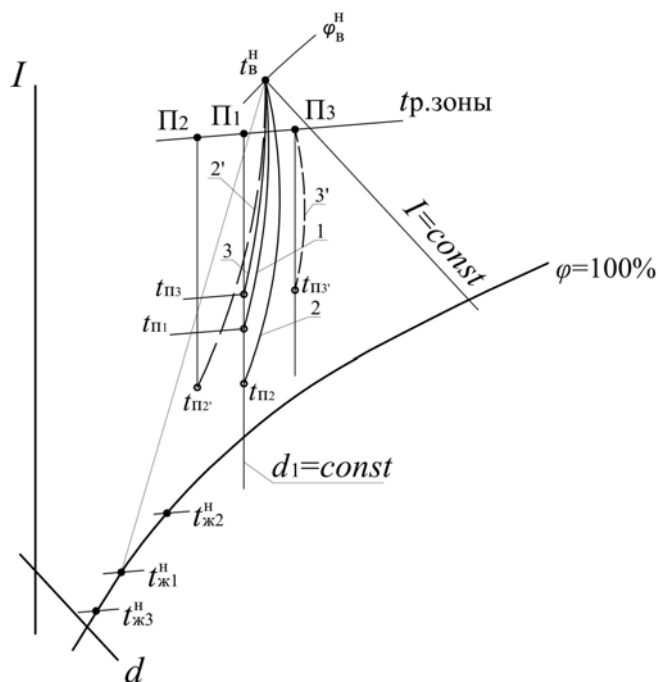


Рис.4. – Изображение на $I-d$ -диаграмме процесса регулирования влагосодержания приточного воздуха: t_B^H , φ_B^H – начальные параметры воздуха, обрабатываемого в оросительной камере; $t_{п1}$, $t_{п2}$, $t_{п3}$ – конечные параметры воздуха после обработки в оросительной камере; Π_1 , Π_2 , Π_3 – параметры приточного воздуха.

Получение параметров приточного воздуха в точке Π_1 обеспечивается достижением требуемого влагосодержания $d_1=const$ по кривой 1 при значении коэффициента орошения B_1 и соотношении начальных параметров воздуха ($t_{в}^H, \varphi_{в}^H$) и воды ($t_{ж1}^H$).

При увеличении коэффициента орошения до величины B_2 при тех же начальных параметрах контактирующих сред, будет иметь место направленность процесса по кривой 2', а параметры воздуха, обработанного в оросительной камере, достигнут значений в точке $t'_{п2}$. Состояние приточного воздуха будет соответствовать точке Π_2 . В конечном итоге наблюдается отклонение получаемых параметров воздуха в области значений $\Pi_1 - \Pi_2$.

Если одновременно с увеличением коэффициента орошения до B_2 увеличить начальную температуру воды до некоторого значения $t_{ж2}^H$, то в результате направленность процесса будет по кривой 2, что обеспечит достижение требуемых параметров воздуха в точке $t_{п2}$ при $d_1=const$. Таким образом, управляя процессом обработки за счет пропорционального повышения температуры при увеличении коэффициента орошения, исключается изменение конечного влагосодержания приточного воздуха, что позволяет повысить точность поддержания параметров воздуха в рабочей зоне.

Аналогичным образом, при уменьшении коэффициента орошения до B_3 получение требуемых параметров воздуха (т. Π_1) достигается за счет понижения начальной температуры воды до $t_{ж3}^H$. Этим обеспечивается требуемая направленность протекания процесса теплообмена и достижение значения влагосодержания $d_1=const$.

На рис. 5 представлена принципиальная схема регулирования влагосодержания приточного воздуха в зональном воздухоподготовительном центре.

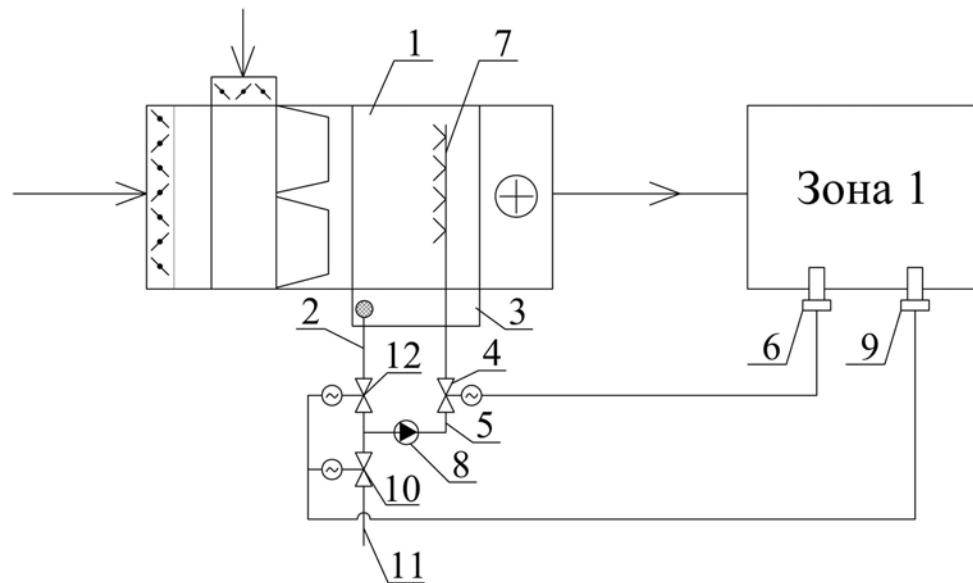


Рис. 5. – Принципиальная схема регулирования влагосодержания приточного воздуха в зональном воздухоприготовительном центре: 1 - оросительная камера; 2 – трубопровод отработанной воды; 3 – поддон; 4 – регулирующий клапан; 5 – подающий трубопровод; 6 – датчик температуры воздуха; 7 – стояк с форсунками орошения; 8 – циркуляционный насос; 9 – датчик влажности воздуха; 10 – регулирующий клапан; 11 – трубопровод холодной воды; 12 – регулирующий клапан.

Температура воздуха в помещении (зона 1) поддерживается регулирующим клапаном 4 (рис.5) по сигналу устройства 6, а относительная влажность клапанами 10 и 12 в соответствии с сигналами устройства 9.

При увеличении тепло- и влаговывделений в обслуживаемом помещении и повышении температуры в рабочей зоне ($t_{p,зоны}$) по сигналам устройства 6 увеличивается расход воды, распыляемой в форсуночной камере, с помощью открытия регулирующего клапана 4.

Если при этом произойдет отклонение величины влагосодержания воздуха в рабочей зоне помещения, то по сигналу устройства 9, одновременно с увеличением коэффициента орошения повышается 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 воздух после оросительной камеры 1 принимает состояние в точке $t_{п2}$ при более низкой температуре, чем в точке $t_{п1}$ при сохранении постоянного влагосодержания приточного воздуха. Таким образом обеспечивается поддержание влагосодержания воздуха $d_1=const$ в рабочей зоне помещения (т. П₁).

При уменьшении тепло- и влагопоступлений в обслуживаемом помещении с помощью указанной схемы регулирования уменьшается расход распыляемой воды при одновременном понижении ее начальной температуры. Параметры воздуха в рабочей зоне помещения (т. П₁) 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.

Данный способ регулирования был апробирован при проведении испытаний зонального воздухоприготовительного центра, в частности, при регулировании режимов работы оросительной камеры. Результаты одной из серий опытов представлены в таблице 1.

Таблица №1

№	Параметры воздуха, °С				Параметры воды, °С		В, kg/kg	Конечное влагосодер- жание воздуха, d, г/кг
	начальные		конечные		начальные	конечные		
	t_{c1}	t_{m1}	t_{c1}'	t_{m1}'	t_2	t_2'		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	26,1	19,4	15,1	14,0	6,9	11,0	1	9,5
2	26,0	19,4	12,8	12,3	6,8	10,5	1,5	8,7
3	26,1	19,4	14,0	13,5	8,9	11,8	1,5	9,5

Результаты экспериментов показывают, что для поддержания требуемого влагосодержания приточного воздуха $d=9,5$ г/кг (опыт 1) при постоянных начальных параметрах воздуха (температура по сухому термометру $t_{c1}=26,1^{\circ}\text{C}$, температура по "мокрому" термометру $t_{m1}=19,4^{\circ}\text{C}$) и увеличении коэффициента орошения до $B=1,5$ кг/кг (опыт 2) потребовалось повышение начальной температуры воды до значения $t_2=8,9^{\circ}\text{C}$ (опыт 3), что обеспечило достижение требуемого влагосодержания, равного $9,5$ г/кг.

Таким образом, при постоянных начальных параметрах воздуха, пропорциональное изменение начальной температуры воды и коэффициента орошения, обеспечивает возможность регулирования влагосодержания приточного воздуха, подаваемого в обслуживаемое помещение.

Литература

1. Essam E.Khalil. Air Distribution Air in Buildings. New York: CRC Press, 2014. 268 p.
2. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. М.: Евроклимат, 2003. 398 с.
3. Мурашко В.П. Системы кондиционирования воздуха. Теория и практика. М.: Евроклимат, 2017. 627 с.
4. Robert McDowall. Fundamentals of HVAC Systems. London: Elsevier, 2006. 217 p.
5. Кокорин О.Я. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования. М.: Издательство АСВ, 2013. 256 с.
6. А.Н. Гвоздков, О.Ю. Сулова, А.В. Авдонин, А.А. Викстрем. Разработка современных энергоэффективных воздухоприготовительных центров систем кондиционирования воздуха и вентиляции // Инженерный вестник Дона, 2017, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4195/.

7. Галкина Н.И. КПД систем вентиляции // Инженерный вестник Дона, 2017, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4106/.

8. 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. URL: vestnik.vgasu.ru/

9. Креслинь А.Я. Автоматическое регулирование систем кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1972. 97 с.

10. Богословский В.Н., Поз М.Я. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1983. 319 с.

11. Гвоздков А.Н. Процесс тепло- и влагообмена в системе «воздух-вода» с позиции теории потенциала влажности. Известия Вузов. Строительство. 2015. №11-12(683-684). С. 31-41.

References

1. Essam E.Khalil. Air Distribution Air in Buildings. New York: CRC Press, 2014. 268 p.

2. Belova E.M. Sistemy konditsionirovaniya vozdukha s chillerami i fenkoylami [Air conditioning systems with chillers and fan coils]. М.: Evroklimat, 2003. 398 p.

3. Murashko V.P. Sistemy konditsionirovaniya vozdukha. Teoriya i praktika [Air conditioning systems. Theory and practice]. М.: Evroklimat, 2017. 627 p.

4. Robert McDowall. Fundamentals of HVAC Systems. ASHRAE. London: Elsevier, 2006. 217 p.



5. Kokorin O.Ya. Energoberezhenie v sistemakh otopeniya, ventilyatsii, konditsionirovaniya [Energy saving in heating, ventilation, air-conditioning systems]. M.: Izdatel'stvo ASV, 2013. 256 p.
6. A.N. Gvozdokov, O.Yu. Suslova, A.V. Avdonin, A.A. Vikstrem Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4195/.
7. Galkina N.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2017. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4106/.
8. Gvozdokov A.N., Suslova O.Yu. Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2014. Vyp. 3(34). St. 3. URL: vestnik.vgasu.ru/
9. Kreslin' A.Ya. Avtomaticheskoe regulirovanie sistem konditsionirovaniya vozdukhа [Automatic regulation of air conditioning systems]. M.: Stroyizdat, 1972. 97 p.
10. Bogoslovskiy, V.N., Poz, M.Ya. Teplofizika apparatov utilizatsii tepla sistem otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukhа [Thermophysics of units waste heat recovery systems heating, ventilation and air-conditioning]. M.: Stroyizdat, 1983. 319 p.
11. Gvozdokov A.N. Izvestija Vuzov. Stroitel'stvo. 2015. №11-12(683-684).