

УДК 697.93.001.24

О.Д. САМАРИН

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ АДИАБАТНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПРИТОКА В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Рассмотрены условия осуществления процесса адиабатного охлаждения и увлажнения приточного воздуха в приточных системах кондиционирования воздуха в теплый период года. Дано аналитическое описание изменения состояния воздуха в секции увлажнения и обслуживаемом помещении на основе построения соответствующих процессов в $I-d$ -диаграмме с использованием известных соотношений между параметрами состояния влажного воздуха. Получена теоретическая оценка минимального значения тепловлажностного соотношения в помещении, позволяющего добиться достаточной разности температур внутреннего и приточного воздуха для предотвращения чрезмерного роста воздухообмена, при известных параметрах внутреннего и наружного климата в рассматриваемом районе строительства. Представлен частный случай найденной зависимости для климатических условий Екатеринбурга и оптимальных значений внутренних метеопараметров в соответствии с действующими нормативными документами Российской Федерации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: кондиционирование воздуха, адиабатное охлаждение, тепловлажностное соотношение, энтальпия, влагосодержание, относительная влажность.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-722-2-72-77

Системы кондиционирования воздуха являются одним из основных потребителей энергии в общественных зданиях как в холодный, так и в теплый период года. Поэтому вопросы снижения энергопотребления при эксплуатации данных систем продолжают оставаться актуальными и рассматриваются различными авторами в нашей стране и за рубежом, например, в работах [1–9].

Наименее энергоемкий способ обработки приточного воздуха в теплый период года – адиабатное (изоэнтальпийное) охлаждение с увлажнением, которое реализуется в форсуночных камерах орошения или, что более эффективно и в последнее время приобретает все большее распространение, в сотовых увлажнителях с рециркулирующей водой. Основное преимущество такого процесса заключается в отсутствии необходимости в холодильной машине, что существенно сокращает капитальные и эксплуатационные затраты на систему вентиляции или кондиционирования воздуха. Поскольку температура притока при этом снижается, одна из возможных целей применения рассматриваемого метода может заключаться в уменьшении требуемого воздухообмена в помещениях, особенно в случаях, когда сопутствующее повышение влагосодержания незначимо. В частности, это касается производственных зданий и некоторых второстепенных помещений общественных. В то же время такой процесс может использоваться и как основной способ подготовки воздуха для помещений с нормируемыми оптимальными

© Самарин О.Д., 2019

параметрами внутреннего микроклимата, если это допускает построение процесса изменения состояния влажного воздуха на $I-d$ -диаграмме.

Схема такого построения показана на рисунке¹. Здесь точки Н, П и В обозначают состояние соответственно наружного, приточного и внутреннего воздуха, П' – фактическое состояние после увлажнения с учетом последующего подогрева при сжатии в вентиляторе, Н' – вспомогательная точка для построения точки П, пунктирная линия Н' – П – вспомогательный отрезок, параллельный Н – П' и также проходящий по линии $I = \text{const}$. Остальные обозначения будут приведены ниже.

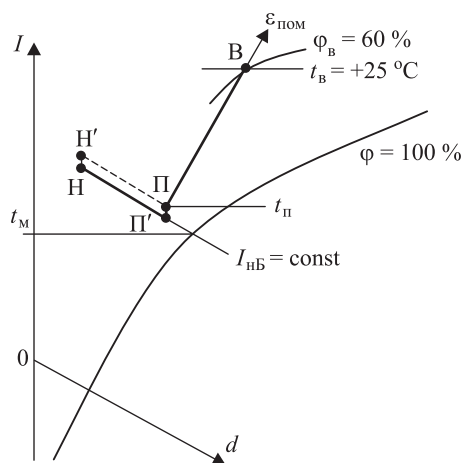


Схема процесса изменения состояния влажного воздуха при адиабатном увлажнении притока в теплый период

Основной задачей в данном случае является определение предельного значения углового коэффициента луча процесса в помещении $\varepsilon_{\text{пом}}$, кДж/кг [10], т.е. его тепловлажностного соотношения, при котором в результате адиабатного увлажнения возможно получение достаточно значительной разности температур между внутренним воздухом $t_{\text{в}}$ и приточным $t_{\text{п}}$, °С.

Во избежание существенного увеличения воздухообмена уровень $t_{\text{в}} - t_{\text{п}}$ целесообразно принимать в пределах 6–7 °С, при дальнейшем его повышении могут возникнуть сложности с организацией воздухораспределения. Однако в рассматриваемом случае приходится ограничиваться меньшими значениями, хотя бы по той причине, что минимально возможная величина $t_{\text{п}}$ здесь не может быть ниже температуры мокрого термометра $t_{\text{м}}$ для начального состояния наружного воздуха.

При проектировании систем кондиционирования воздуха это состояние в теплый период года описывается параметрами «Б» (температурой $t_{\text{нб}}$, °С, и энтальпией $I_{\text{нб}}$, кДж/кг) в соответствии с данными СП 131.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* «Строительная климатология»» (далее – СП 131). Параметры внутреннего микроклимата при этом приведены в ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» (далее – ГОСТ 30494). Легко понять, что для повышения $t_{\text{в}} - t_{\text{п}}$ в условиях фиксированной $t_{\text{м}}$ и для сведения к минимуму отрицательного эффекта от повышения влагосодержания притока $d_{\text{п}}$, г/кг, в ходе увлажнения значения $t_{\text{в}}$ и относительной влажности внутреннего воздуха $\varphi_{\text{в}}$ следует принимать на максимально возможном уровне в пределах оптимального диапазона по ГОСТ 30494, а именно $t_{\text{в}} = +25$ °С и $\varphi_{\text{в}} = 60$ %. Тогда величину $t_{\text{п}}$ можно установить на уровне +21 °С, что дает нам $t_{\text{в}} - t_{\text{п}} = 4$ °С.

¹ Самарин О.Д. Основы обеспечения микроклимата зданий. М.: Изд-во АСВ, 2014. 208 с.

В соответствии с известными соотношениями между параметрами состояния влажного воздуха (см. сноску 1) и построением на рисунке для энтальпии притока $I_{\text{п}}$, кДж/кг, можно записать следующее выражение

$$I_{\text{п}} = 1,005t_{\text{п}} + 2,49d_{\text{п}} = I_{\text{н}'} = I_{\text{нБ}} + 0,5, \quad (1)$$

где $2,49 \text{ кДж/г} = r$ – удельная теплота парообразования воды;
 $1,005 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)} = c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость сухого воздуха;
 параметр $0,5$ учитывает расстояние между точками П и П', т.е. подогрев воздуха при сжатии в вентиляторе.

По определению углового коэффициента луча процесса изменения состояния воздуха на I - d -диаграмме имеем

$$\varepsilon_{\text{пом}} = \frac{I_{\text{в}} - I_{\text{п}}}{d_{\text{в}} - d_{\text{п}}} \cdot 10^3. \quad (2)$$

При $t_{\text{в}} = +25 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\varphi_{\text{в}} = 60 \%$ можно найти, что для барометрического давления в 99 кПа , характерного для значительной части городов РФ, расположенных на равнинной местности, в том числе Москвы, значения параметров точки В составят $I_{\text{в}} = 55,2 \text{ кДж/кг}$ и $d_{\text{в}} = 12,08 \text{ г/кг}$. Тогда с учетом уравнения (1) получаем

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{пом}} &= 10^3 \frac{55,2 - I_{\text{нБ}} - 0,5}{12,08 - (I_{\text{нБ}} + 0,5 - 1,005t_{\text{п}})/2,49} = \\ &= 2490 \frac{55,2 - I_{\text{нБ}} - 0,5}{30,07 - I_{\text{нБ}} - 0,5 + 1,005t_{\text{п}}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Конечно, данная формула будет корректной только в случае выполнения очевидного условия $I_{\text{н}'} < I_{\text{в}}$, когда по построению на рисунке линия $I_{\text{н}'} = \text{const}$ пересекает луч процесса в помещении при температуре $t_{\text{п}} < t_{\text{в}}$. В частности, в Москве по данным СП 131 $I_{\text{нБ}} = 54,5 \text{ кДж/кг}$, откуда $I_{\text{н}'} = 54,5 + 0,5 = 55 \text{ кДж/кг} \approx I_{\text{в}}$, поэтому рассматриваемый способ обработки притока с целью кондиционирования воздуха здесь неприменим. Однако, например, для Екатеринбурга с $I_{\text{н}'} = 50 + 0,5 = 50,5 \text{ кДж/кг}$, данный вопрос рассматривать можно. В этом случае из (3) находим

$$\varepsilon_{\text{пом}} = 2490 \frac{55,2 - 50 - 0,5}{30,07 - 50 - 0,5 + 1,005 \cdot 21} = 17 \, 340 \text{ кДж/кг}.$$

В общем случае из формулы (3) легко видеть, что с уменьшением $I_{\text{нБ}}$ значение $\varepsilon_{\text{пом}}$ тоже будет падать. Что же касается зависимости $\varepsilon_{\text{пом}}$ от принятого уровня $t_{\text{п}}$, очевидно, она будет иметь противоположный характер, поскольку $t_{\text{п}}$ находится в знаменателе.

Заключение. Получено аналитическое выражение для минимального значения тепловлажностного соотношения $\varepsilon_{\text{пом}}$ в обслуживаемом помещении, позволяющего обеспечить необходимую разность температур $t_{\text{в}} - t_{\text{п}}$ при адиабатном охлаждении притока в теплый период года. Доказано, что минимальная величина $\varepsilon_{\text{пом}}$ при прочих равных условиях тем выше, чем больше значение $I_{\text{нБ}}$ в рассматриваемом районе строительства, т.е. в зонах с относи-

тельно более влажным климатом. Отмечено, что при уменьшении принятой величины температуры притока, т.е. при попытке сокращения требуемого воздухообмена минимальный уровень $\varepsilon_{\text{пом}}$ также увеличивается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шарпов В.И. О некоторых аспектах технической политики в теплоснабжении // Энергосбережение и водоподготовка. 2013. № 5. С. 9–12.
2. Рымаров А.Г., Савичев В.В. Особенности работы регенеративной системы вентиляции административного здания // Вестн. МГСУ. 2013. № 3. С. 174–177.
3. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district // Sustainable Cities and Society. 2015. Vol. 14, No. 1. P. 5–15.
4. Jedinák Richard. Energy efficiency of building envelopes // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 855. P. 39–42.
5. Naji S., Alengaram U.J., Jumaat M.Z., Shamshirband S., Basser H., Keivani A., Petković D. Application of adaptive neuro-fuzzy methodology for estimating building energy consumption // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 53. P. 1520–1528.
6. Малявина Е.Г., Крючкова О.Ю. Оценка энергопотребления различными центральными системами кондиционирования воздуха // Науч.-техн. вестн. Поволжья. 2014. № 4. С. 149–152.
7. Крючкова О.Ю. Инженерная методика расчета годовых затрат энергии и воды центральными установками кондиционирования воздуха // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 4.
8. Королева Н.А., Фокин В.М. Применение систем кондиционирования воздуха с испарительным охлаждением в современных зданиях // Вестн. ВолГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39. С. 173–182.
9. Самарин О.Д., Лушин К.И., Кирушок Д.А. Энергосберегающая схема обработки воздуха с косвенным испарительным охлаждением в пластинчатых рекуператорах // Жилищное строительство. 2018. № 1-2. С. 43–45.
10. Самарин О.Д. Аналитическая оценка возможности исключения вторичного подогрева притока в прямооточных системах кондиционирования воздуха // Изв. вузов. Строительство. 2018. № 1. С. 69–75.

Самарин Олег Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Получено после доработки 25.01.19

Samarin Oleg Dmitrievich, PhD, Ass. Professor
National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia

THE ANALYTIC EVALUATION OF THE FEASIBILITY OF ADIABATIC HUMIDIFICATION OF SUPPLY AIR IN THE COOLING SEASON

The conditions of the process of adiabatic cooling and humidification of the supply air in the direct-flow air conditioning systems in the cooling period of the year are considered. The analytical description of the air state change in the humidification section and the room served on the basis of the construction of the relevant processes in the *I-d*-diagram using

the known relations between the parameters of the humid air state is given. The theoretical estimation of the minimum value of the heat-moisture ratio in the room is found, which allows obtain a sufficient temperature difference between the internal and supply air to prevent excessive growth of air exchange, with known parameters of the internal and external climate in the considered area of construction. A special case of the dependence for the climatic conditions of Yekaterinburg and the optimal values of the internal meteorological parameters in accordance with the current regulatory documents of the Russian Federation is presented.

Key words: air conditioning, adiabatic cooling, heat-moisture ratio, enthalpy, moisture content, relative humidity.

REFERENCES

1. Sharapov V.I. O nekotorykh aspektakh tekhnicheskoy politiki v teplosnabzhenii [On some aspects of the technical policy in the heat supply]. *Energoberezheniye i vodopodgotovka* [Energy saving and water treatment]. 2013. No. 5. Pp. 9–12. (in Russian)
2. Rymarov A.G., Savichev V.V. Osobennosti raboty regenerativnoy sistemy ventilyatsii administrativnogo zdaniya [Features of operation of the regenerative ventilating system of the administrative building]. *Vestnik MGSU* [Papers of the MSUCE]. 2013. No. 3. Pp. 174–177. (in Russian)
3. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. *Sustainable Cities and Society*. 2015. Vol. 14, No. 1. Pp. 5–15.
4. Jedinák Richard. Energy efficiency of building envelopes. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 855. Pp. 39–42.
5. Naji S., Alengaram U.J., Jumaat M.Z., Shamshirband S., Basser H., Keivani A., Petković D. Application of adaptive neuro-fuzzy methodology for estimating building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 53. Pp. 1520–1528.
6. Malyavina E.G., Kryuchkova O.Yu. Otsenka energopotrebleniya razlichnymi tsentral'nymi sistemami konditsionirovaniya vozdukha [Estimation of the energy consumption of the different central air condition systems]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya* [Science and Technical News of the Volga Region]. 2014. No. 4. Pp. 149–152. (in Russian)
7. Kryuchkova O.Yu. Inzhenernaya metodika rascheta godovykh zatrat energii i vody tsentral'nymi ustanovkami konditsionirovaniya vozdukha [The engineering procedure of calculation of annual water and energy consumption by the central air conditioning units]. *Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya* [Web News of VolgGASU. Series: Polythematic]. 2013. Vol. 4. (in Russian)
8. Korolyova N.A., Fokin V.M. Primeneniye sistem konditsionirovaniya vozdukha s isparitel'nym okhlazhdeniyem v sovremennykh zdaniyakh [Application of air conditioning evaporative cooling in modern buildings]. *Vestnik VolGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. 2015. Vol. 39. Pp. 173–182. (in Russian)
9. Samarina O.D., Lushin K.I., Kirushok D.A. Energoberegayushchaya skhema obrabotki vozdukha s kosvennym isparitel'nym okhlazhdeniyem v plastinchatykh rekuperatorakh [The energy saving scheme of air treatment with indirect evaporative cooling in plate heat recovery units]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Residential construction]. 2018. No. 1-2. Pp. 43–45. (in Russian)

10. Samarin O.D. Analiticheskaya otsenka vozmozhnosti isklyucheniya vtorichnogo podogreva pritoka v pryamotochnykh sistemakh konditsionirovaniya vozdukha [The analytic estimation of possibility of elimination of secondary heating of supply air in direct-flow air conditioning systems]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2018. No. 1. Pp. 69–75. (in Russian)
