

УДК 628.84

Энергосберегающие режимы приготовления приточного воздуха в комфортных системах кондиционирования

Д-р техн. наук, проф. **О.Я. КОКОРИН**
МГСУ
В.В. КОМИССАРОВ, А.В. САФРОНОВ
фирма "Вента"

In comfort air conditioning systems during preparation of the inlet outside air its humidification is necessary. The company "Venta" has developed and produces a compact apparatus for adiabatic humidification; its use in systems of ventilation and air conditioning leads to reduction of operational and capital expenditures.

В помещениях жилых и административно-общественных зданий необходимо обеспечивать температуру, влажность, газовый состав и чистоту воздуха на уровне теплового комфорта [2]. Эти требования выполняют системы комфортного кондиционирования [1].

Для обеспечения комфортного газового состава и чистоты внутреннего воздуха в помещения подается наружный воздух, а загазованный и загрязненный воздух удаляется вытяжными системами.

По [2] норма приточного наружного воздуха составляет 3 м³/ч на 1 м² жилого помещения, в административных зданиях санитарная норма приточного наружного воздуха составляет 60 м³/(чел. · ч).

Наиболее благоприятные санитарно-гигиенические качества воздуха в обитаемой зоне помещений обеспечиваются при подаче приточного наружного воздуха в зону нахождения людей [1, 4]. Вытяжка загазованного и отепленного воздуха осуществляется под потолком помещений. Такой принцип организации воздухообмена в обслуживаемых СКВ помещениях называется вытесняющей вентиляцией. Он позволяет сократить расход энергии на 10 %. Температуру ($^{\circ}\text{C}$) удаляемого под потолком воздуха в схеме вытесняющей вентиляции вычисляют по формуле

$$t_y = K_L (t_b - t_n) + t_n, \quad (1)$$

где $t_{\text{в}}$ — температура внутреннего воздуха; $t_{\text{п}}$ — температура приточного воздуха; K_L — показатель, зависящий от условий поступления тепловыделений в помещения (в работе [1] представлен в виде графической зависимости). Для административных помещений $K_L = 2,3$ [1, 4].

4]. Нормируемые комфортные параметры воздуха для труда и отдыха людей можно выделить в виде сектора на $I-d$ -диаграмме влажного воздуха (рис. 1). В теплый период года комфортная температура t_v может колебаться в пределах 23...25 °С, относительная влаж-

ность $\varphi_{\text{в}} = 30\text{--}60\%$. В холодный и переходный периоды года $t_{\text{вх}} = 20\text{--}22^\circ\text{C}$ при $\varphi_{\text{вх}} = 30\text{--}45\%$ ([2] – приложение 5 на с. 40).

Пунктирной линией $H-H_x$ на рис. 1 показаны усредненные значения круглогодичного изменения параметров наружного воздуха (по параметрам Б для климата Москвы [2]).

В теплый период года согласно данным приложения 8 [2] средняя суточная амплитуда температуры наружного воздуха в климате Москвы составляет $\Delta t_{\text{н.сут}} = 10,4^\circ\text{C}$. Температура приточного наружного воздуха в ночные часы будет

$$t_{\text{пн.ноч}} = t_{\text{п}} - \Delta t_{\text{н.сут}} = 28,5 - 10,4 = 18,1 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

В ночные часы приточный наружный воздух в теплый период года является наиболее дешевым и энергетически целесообразным естественным источником холода. Проведем анализ особенностей формирования теплового режима в климате Москвы в административном помещении площадью 20 м^2 с окном в наружной стене, ориентированной на юг. В помещении с 9 ч утра до 19 ч вечера находятся три человека, работающие на компьютере. Явные тепловыделения от людей и компьютеров в рабочие часы постоянны и равны $Q_{\text{л+ком}} = 520 \text{ Вт}$. По санитарным нормам [2] в это помещение должно поступать $l_{\text{пр}} = 60 \cdot 3 = 180 \text{ м}^3/\text{ч}$ приточного наружного воздуха. Охлажденный приточный воздух подается в обитаемую зону от местного вентиляторного или эжекционного доводчика [1] с температурой не ниже $t_{\text{п}} = 19^\circ\text{С}$. Вытяжка отепленного и загазованного воздуха осуществляется под потолком и температура вытяжного воздуха по формуле (1) при $t_{\text{п}} = 21^\circ\text{С}$ составит

$$t_v = 2,3 \cdot (25 - 21) + 21 = 30,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для поглощения постоянных явных тепловыделений температура приточного наружного воздуха должна быть

$$t_{\text{пн}} = t_y - \frac{Q_{\text{л+ком}} \cdot 3,6}{l_{\text{пн}} \rho_{\text{пн}} c_p} = 30,2 - \frac{520 \cdot 3,6}{180 \cdot 1,2 \cdot 1} = 21,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $\rho_{\text{пр}}$ — плотность приточного наружного воздуха кг/м^3 ;

$$c_p - \text{теплоемкость воздуха, Дж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Влаговыведения в помещении (от людей) равно
 $W_{\text{вл}} = 3 \cdot 115 = 345 \text{ г/ч}$. Влагосодержание удаляем

$$d_y = d_{\text{ин}} + \frac{W_{\text{вл}}}{l_{\text{ин}} \rho_{\text{ин}}} = 10 + \frac{345}{180 \cdot 1,2} = 11,6 \text{ г/кг.}$$

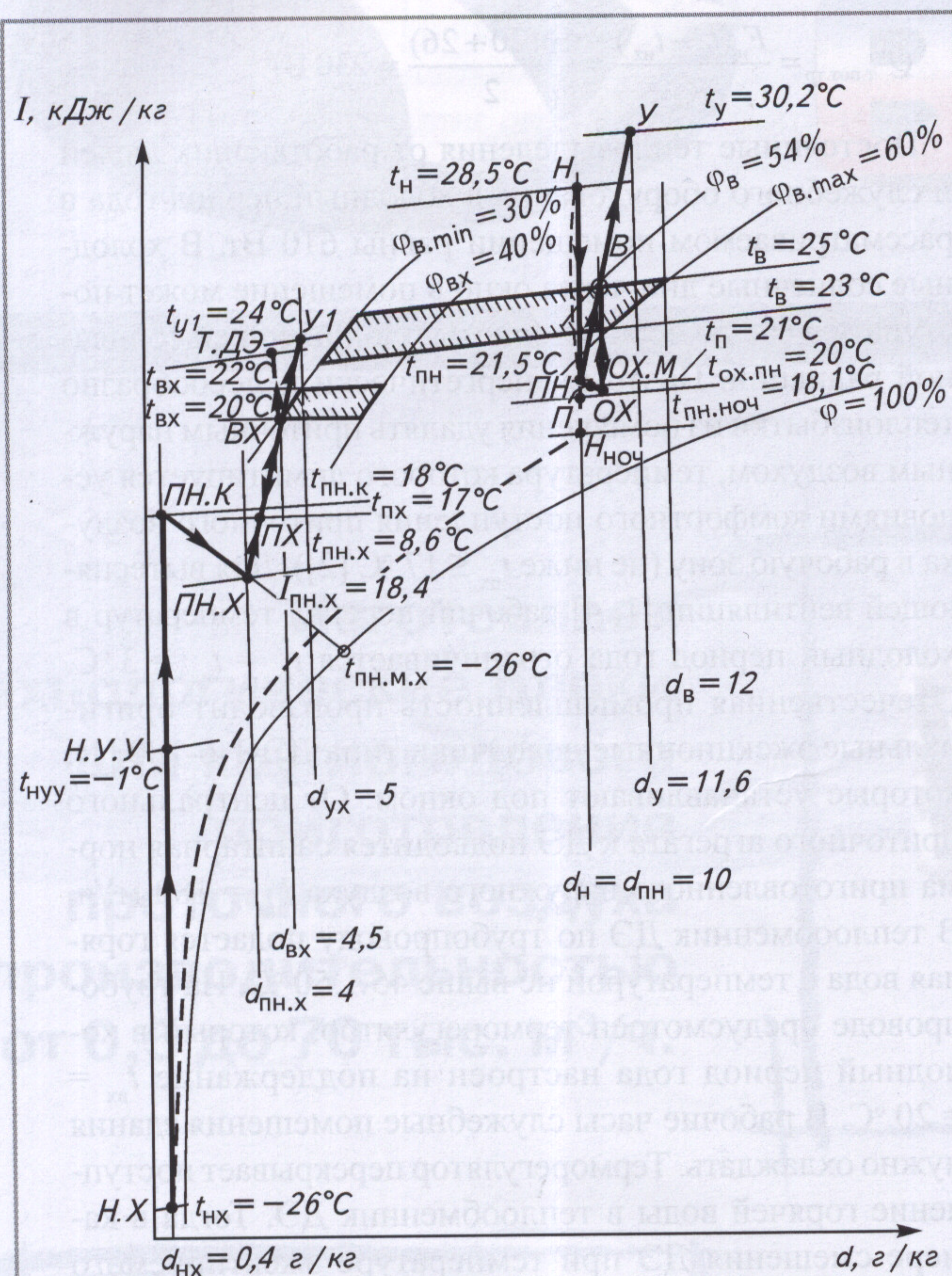


Рис. 1. Построение на I-d-диаграмме круглогодичных режимов работы системы комфортного кондиционирования:

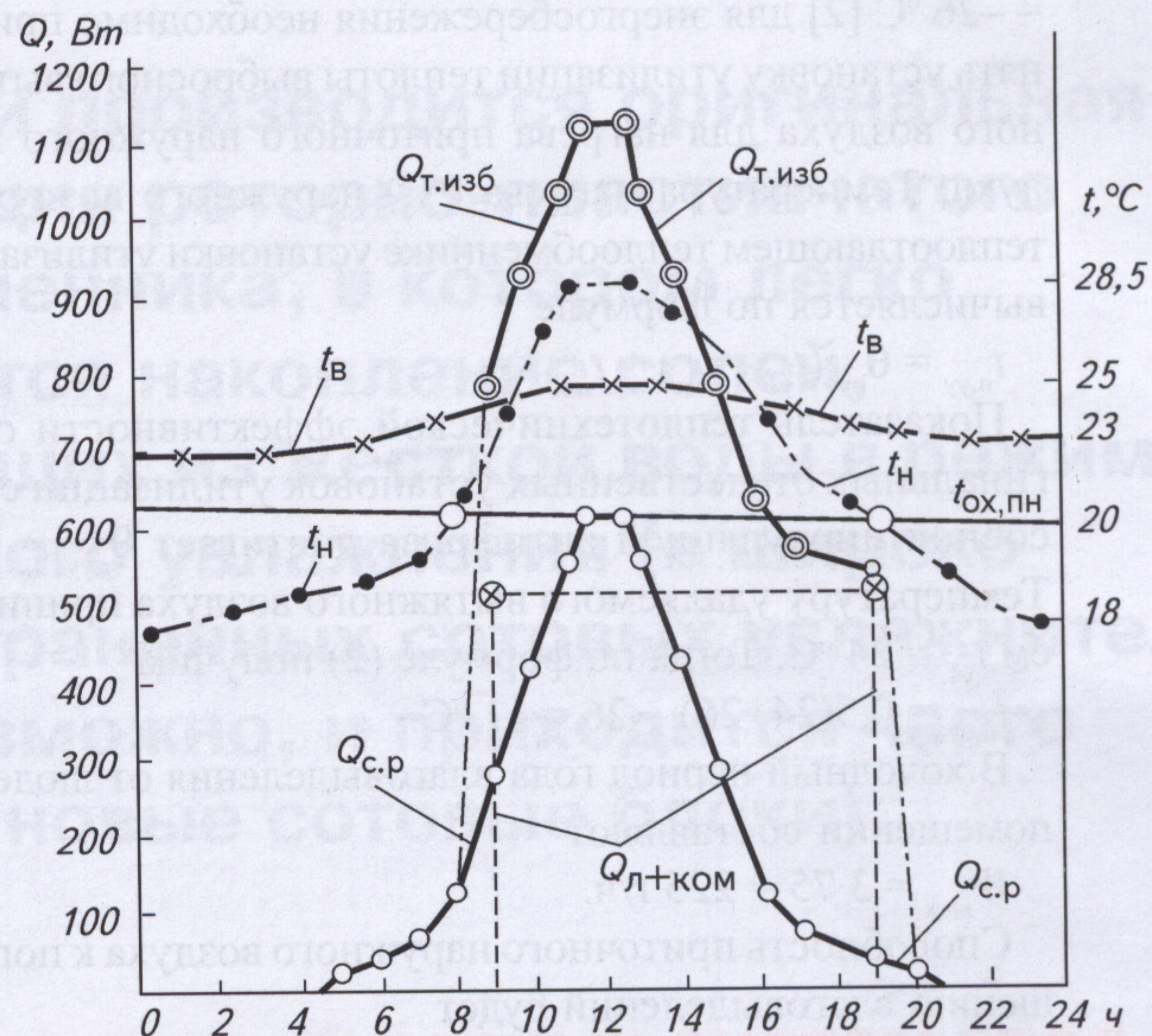


Рис. 2. Суточные изменения теплового режима в административном помещении с окном на юг в климате Москвы в теплый период года:

t_v — температура воздуха в рабочей зоне; t_n — температура наружного воздуха; $t_{\text{ох.пн}}$ — температура охлажденного приточного наружного воздуха; $Q_{\text{л+ком}}$ — постоянные поступления явного тепла от людей и работы служебного оборудования; $Q_{\text{с.р}}$ — теплота проникающей в помещение солнечной радиации; $Q_{\text{т.изб}}$ — суммарные теплоизбытки в помещении

турой ниже $t_{\text{пн}} = 21,5^\circ\text{C}$ без потребления искусственного холода. За это время холодом наружного воздуха отводится от ограждающих внутренних строительных конструкций, мебели, служебного оборудования накопившееся за дневные часы тепло в количестве:

$$Q_{\text{х.ноч}} = \tau_{\text{ноч.х}} l_{\text{пн}} \rho_{\text{пн}} c_p (t_y - t_{\text{пн}}) / 3,6 = 13 \cdot 180 \cdot 1,2 \cdot 1 \times$$

Ночной холод $Q_{\text{х.ноч}}$ обеспечит снижение температуры поверхностей внутренних строительных конструкций, мебели, служебного оборудования с 26 до 23 °С.

Ночное охлаждение помещений позволяет уменьшить установочную мощность холодильных машин и потребление электроэнергии на выработку холода в системе кондиционирования.

Поддача холодной воды с температурой $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ в теплообменник местного доводчика для охлаждения внутреннего воздуха регулируется датчиками контроля верхнего комфортного уровня температуры в рабочей зоне $t_{\text{в}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, размещенными в каждом помещении.

В переходный период года при t_n от 20 °С и ниже не требуется расхода холода в центральном приточном агрегате. При $t_n \approx 10$ °С температура воздуха в рабочей зоне помещения поддерживается на нижнем уровне теплового комфорта (см. нижний заштрихованный сектор на рис. 1).

В холодный период года в климате Москвы при $t_{\text{нх}} = -26^\circ\text{C}$ [2] для энергосбережения необходимо применять установку утилизации теплоты выбросного вытяжного воздуха для нагрева приточного наружного воздуха. Температура нагрева ($^\circ\text{C}$) наружного воздуха в теплоотдающем теплообменнике установки утилизации вычисляется по формуле (2)

$$t_{\text{н.вв}} = \theta_{t, \text{yy}} (t_{\text{yl}} - t_{\text{нх}}) + t_{\text{нх}}. \quad (2)$$

Показатель теплотехнической эффективности оригинальных отечественных установок утилизации с насосной циркуляцией антифриза достигает $\theta_{t,yy} = 0,5$. Температуру удаляемого вытяжного воздуха принимаем $t_{y1} = 24^\circ\text{C}$. Тогда по формуле (2) получим

$$t_{H.VV} = 0,5(24+26) - 26 = -1^{\circ}\text{C}.$$

В холодный период года влаговыделения от людей в помещении составляют

$$W_{\text{в.л.х}} = 3.75 = 225 \text{ г/ч.}$$

Способность приточного наружного воздуха к поглощению влаговывделений будет

$$\Delta d_{ac.x} = \frac{W_{B.I.X}}{l_{III} \rho_{III}} = \frac{225}{180 \cdot 1,23} = 1 \text{ г/кг.}$$

При выполнении современных требований по теплозащите зданий [3] приведенное термическое сопротивление наружных ограждающих конструкций жилых и административно-общественных зданий будет не менее $R_o = 2 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. В рассматриваемом помещении административного здания поверхность наружных ограждений $F_n = 10 \text{ м}^2$. Теплотери при разности температур $(t_b - t_{hx})$ через наружные ограждения в расчетном режиме в холодный период составляют

$$Q_{\text{т.пот.тр}} = \frac{F_{\text{н}}(t_{\text{б}} - t_{\text{нх}})}{R_0} = \frac{10(20 + 26)}{2} = 230 \text{ Вт.}$$

Постоянные тепловыделения от работающих людей и служебного оборудования в холодный период года в рассматриваемом помещении равны 610 Вт. В холодные солнечные дни через окно в помещение может поступать в час до 460 Вт теплоты проникающей солнечной радиации. Поэтому энергетически целесообразно теплоизбытки из помещения удалять приточным наружным воздухом, температура которого лимитируется условиями комфортного поступления приточного воздуха в рабочую зону (не ниже $t_{\text{пх}} \leq 17^\circ\text{C}$ [2]). Для вытесняющей вентиляции [1, 4] рабочий перепад температур в холодный период года ограничивается $t_{\text{вх}} - t_{\text{пх}} = 3^\circ\text{C}$. Отечественная промышленность производит оригинальные эжекционные доводчики типа ДЭ-1-6-180 [1], которые устанавливают под окном. От центрального приточного агрегата к ДЭ подводится санитарная норма приготовленного наружного воздуха $l_{\text{пх}} = 180 \text{ м}^3/\text{ч}$. В теплообменник ДЭ по трубопроводу подается горячая вода с температурой не выше $45 \dots 50^\circ\text{C}$. На трубопроводе предусмотрен терморегулятор, который в холодный период года настроен на поддержание $t_{\text{вх}} = 20^\circ\text{C}$. В рабочие часы служебные помещения здания нужно охлаждать. Терморегулятор перекрывает поступление горячей воды в теплообменник ДЭ. Тогда в камере смешения ДЭ при температуре эжестируемого внутреннего воздуха $t_{\text{вх}} = 20^\circ\text{C}$ температура смеси приточного воздуха должна быть не ниже $t_{\text{пх}} = 17^\circ\text{C}$.

Вычисляем допустимую температуру подогретого и увлажненного приточного наружного воздуха $t_{\text{пн.х}}$ при коэффициенте эжекции в отечественной конструкции ДЭ, равном $K_3 = 2,8$ [2]:

$$t_{\text{н.в.}} = t_{\text{н.г.}} (1 + K_3) - K_9 t_{\text{н.г.}} = 17 (1 + 2,8) - 2,8 \cdot 20 = 8,6^\circ \text{C}.$$

На рис. 1 от линии $d_{\text{ВХ}} = 4,5$ г/кг откладываем 0,5 г/кг

На рис. 1 от линии $d_{\text{вх}} = 4,5 \text{ г/кг}$ откладываем влево, и находим влагосодержание приточного наружного воздуха $d_{\text{пн.х}} = 4 \text{ г/кг}$. В месте пересечения с изотермой $t_{\text{пн.х}} = 8,6^\circ\text{С}$ определяем точку ПН.Х с энтальпией $l_{\text{пн.х}} = 18,4 \text{ кДж/кг}$ и температурой по мокрому термометру $t_{\text{пн.м.х}} = 5^\circ\text{С}$. В калорифере приточного агрегата наружный воздух в расчетном режиме холодного периода года должен быть нагрет до $t_{\text{пн.к}} = 18^\circ\text{С}$, что позволяет получить требуемую энтальпию $l_{\text{пн.к}} = l_{\text{пн.х}} = 18,4 \text{ кДж/кг}$.

Требуемые температура и влажность приточного воздуха в точке $ПН.X$ достигаются в режиме адиабатного увлажнения в блоке с орошаемым слоем оригинальной отечественной конструкции, разработанном и произведенном фирмой “Вента”, с различными показателями эффективности режима адиабатного увлажнения E_a , вчисляемыми по формуле

$$E_a = \frac{t_{\text{ПН.К}} - t_{\text{ПН.Х}}}{t_{\text{ПН.К}} - t_{\text{ПН.М.Х}}}.$$

Для расчетного режима (в левой части рис. 1)

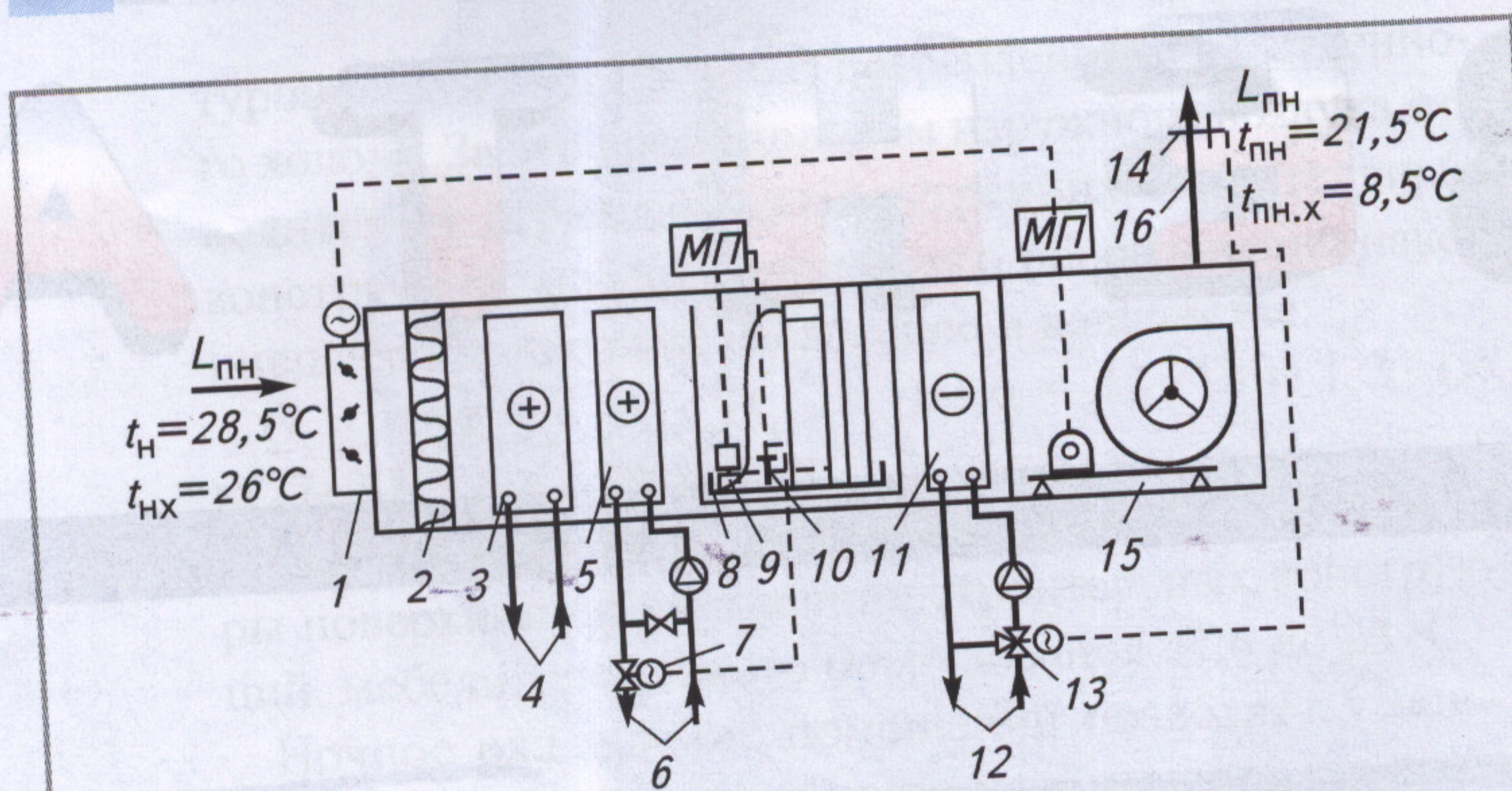


Рис. 3. Схема приточного агрегата из блоков кондиционеров СТА фирмы "Вента":

- 1 — воздушные клапаны, заблокированные с магнитным пускателем МП вентиляторного блока; 2 — воздушный фильтр;
- 3 — теплоотдающий теплообменник установки утилизации;
- 4 — соединительные трубопроводы к теплоизвлекающему теплообменнику в вытяжном агрегате; 5 — калорифер;
- 6 — трубопроводы циркуляции горячей воды через калорифер;
- 7 — автоматический клапан, управляемый от датчика контроля минимального значения температуры приточного наружного воздуха по мокрому термометру $t_{пн.м.х}$; 8 — блок адиабатного увлажнения с орошаемым слоем; 9 — насос циркуляции воды; 10 — датчик контроля $t_{пн.м.х}$, связанный проводами с автоматическим клапаном 7 и насосом 9;
- 11 — воздухоохладитель; 12 — трубопроводы циркуляции холодной воды; 13 — автоматический клапан, связанный с датчиком 14 контроля $t_{пн}$; 15 — приточный вентилятор; 16 — приточный воздуховод к местным ДЭ в помещениях

$$E_a = \frac{18 - 8,6}{18 - 5,0} = 0,72.$$

Фирма "Вента" производит блоки адиабатного увлажнения с $E_a = 0,7; 0,8$ и $0,9$ для центральных кондиционеров типа СТА.

В холодный период года энергетически целесообразно в ночные и вечерние часы (когда в служебных помещениях нет людей) останавливать приточные и вытяжные агрегаты. Задачи дежурного отопления помещений будут выполнять теплообменники ДЭ, нагревающие внутренний воздух в режимах естественной конвекции [1]. На рис. 1 режим дежурного отопления изображен линией ВХ — Т.ДЭ (в левой части построения).

На рис. 3 представлена схема приточного агрегата из блоков кондиционеров СТА, производимых фирмой "Вента". В холодный период года приточный наружный воздух, количество которого $L_{пн}$ определяется числом ДЭ в обслуживаемых помещениях здания, поступает от вентилятора 15 через открытые створки воздушного клапана 1 в фильтр 2 для очистки. Теплообменник 3 установки утилизации обеспечивает первоначальный нагрев приточного наружного воздуха теплотой вытяжного воздуха, передаваемого в теплоизвлекающем теплообменнике вытяжного агрегата (на схе-

ме рис. 3 не показан) антифризу, циркулирующему по соединительным трубопроводам 4 [1]. Догрев приточного наружного воздуха до энтальпии $I_{пн.х}$ осуществляется в калорифере 5, через который по трубопроводам 6 циркулирует горячая вода. Расход ее через калорифер 5 регулируется автоматическим клапаном 7, управляемым датчиком 10 контроля температуры приточного наружного воздуха по мокрому термометру $t_{пн.м.х} \approx 5,0$ °С. В блоке адиабатного увлажнения 8 от насоса 9 подается вода, орошающая слой из тонкой древесной стружки (осиновой или сосновой), которая быстро принимает температуру $t_w \approx t_{пн.м.х}$, контролируемую датчиком 10. При повышении $t_w > t_{пн.м.х} = 5,0$ °С датчик 10 подает команду на остановку двигателя насоса 9, закрытие автоматического клапана 7 и прекращение режима адиабатного увлажнения приточного воздуха.

При температуре наружного воздуха от 8 до 21 °С (это до 40 % времени работы приточного агрегата за год) энергия на выработку тепла или холода для приточного воздуха не расходуется.

При температурах $t_n \geq 21$ °С приточный агрегат работает в режиме "лето". По трубопроводам 12 к воздухоохладителю 11 подается холодная вода, расход которой регулируется клапаном 13 по команде датчика 14.

В обслуживаемых помещениях под окнами установлены эжекционные доводчики (ДЭ), к которым по трубопроводам от приточного воздуховода 16 подводится самотеком вода. Расход приточного наружного воздуха $I_{пн}$. Т.ДЭ теплообменники ДЭ соединены трубопроводами с центральными источниками тепло- и холодоснабжения. Тепловая производительность теплообменников ДЭ зимой и холодопроизводительность летом регулируются условиями поддержания комфортной температуры воздуха в рабочей зоне помещения. Зимой настройка минимального терморегулятора производится на минимальную комфортную температуру $t_{вх} = 20$ °С, а летом — на максимальную $t_{в} = 25$ °С.

Фирма "Вента" проектирует системы кондиционирования по энергосберегающей технологии круглогодичного функционирования для различных типов зданий. Фирма производит оригинальное отечественное оборудование, монтирует и налаживает его; проводит обучение персонала методам правильной эксплуатации и обслуживания систем кондиционирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. — М.: Физматлит, 2003.
2. СНиП 2.04.05-91*. Отопление, вентиляция и кондиционирование. — М.: ГУП ЦПП, 1998.
3. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. Госстрой России, 2004.
4. Справочное руководство № 1. Вытесняющая вентиляция в непроизводственных зданиях. — М.: Пресс, 2003.