

Проф., д-р. техн. наук
О.Я. КОКОРИН
МГСУ,
В.В. НЕВСКИЙ,
А.В. РЕВКОВ
ЗАО «Данфосс»

Количественное и качественное регулирование воздухоохладителей в СКВ

The article describes methods of qualitative and quantitative regulation of air coolers in air conditioning systems. It is shown that combination of these methods allows to realize energy saving regimes of unitary-central air conditioning systems operation.

На охлаждение приточного воздуха в системах кондиционирования воздуха (СКВ) затрачивается наибольшее количество энергии, поэтому требуется тщательный анализ режимов охлаждения. Затраты энергии на выработку и потребление холода в СКВ могут быть значительно снижены (до 40%) путем реализации рациональных режимов приготовления приточного воздуха и регулирования процессов охлаждения [1].

Рассмотрим особенности выбора режимов функционирования местно-центральных СКВ, обслуживающих административные помещения в многоэтажном многоквартирном здании. Служебные помещения расположены с южного и северного фасадов здания в г. Москве.

На рис. 1 представлены графики суточных изменений температуры наружного воздуха t_n и интенсивности солнечной радиации $q_{с.р.}$ в расчетных условиях теплого периода года; показаны также возможные пределы изменения оптимальной температуры воздуха t_v в обслуживаемой зоне административного помещения [3]. В местно-центральной СКВ центральный приточный агрегат обеспечивает вентиляцию помещения и удаление газов, вредных для здоровья людей. Вредные газы выделяются из строительных и отделочных материалов, мебели и др. Для интенсивного проветривания помещений целесообразно, чтобы приточные агрегаты работали и в ночные часы, когда в помещениях людей нет. Из графика изменения t_n , показанного на рис. 1, следует, что в расчетные сутки теплого периода года подача приточного наружного воздуха $\sum L_{п.н.мин}$ за период в 16 ч в сутки будет обеспечивать не только вентиляцию, но и охлаждение помещений природным холодом. В ночные часы градиент температур $t_{в.макс} - t_n$ достигает 6 °С, что позволяет путем подачи наружного воздуха снизить температуру в обслуживаемой зоне помещения до нижнего комфортного уровня $t_{в.мин} = 23$ °С и одновременно охладить строительные конструкции и мебель, т.е. аккумулировать в помещении природный холод. Режим ночного проветривания и охлаждения помещений при работе СКВ наименее энергозатратный.

Затраты холода на охлаждение приточного наружного воздуха до $t_{ок} = 22$ °С за 3 ч работы СКВ изменяются от 0 до 100 % расчетной холодопроизводительности воздухоохладителя приточного агрегата. В случае охлаждения приточного наружного воздуха при постоянном влагосодержании ограничивается выбор начальной температуры воды t_{w1} , подаваемой в трубки воздухоохладителя приточного воздуха.

Холодильные машины СКВ обычно вырабатывают охлажденную воду с температурой $t_{wx} = 7$ °С, что на 7 °С ниже температуры точки росы наружного воздуха, равной для параметров В в климате г. Москвы $t_{р.н} = 14$ °С [3]. Как показали результаты исследований, подача в воздухоохладитель охлажденной воды с температурой $t_{wx} = 7$ °С приводит к конденсации влаги, а это не отвечает энергетически рациональному режиму охлаждения при постоянном влагосодержании наружного воздуха. В однорядных воздухоохладителях охлаждение при постоянном влагосодержании может осуществляться при начальной температуре воды, ограниченной условием

$$t_{w1} = t_{р.н} - 4 \text{ °С.} \quad (1)$$

В рассматриваемом случае в воздухоохладитель центрального кондиционера может подаваться вода при температуре $t_{w1} = 14 - 4 = 10$ °С. Требуемая начальная температура холодной воды $t_{w1} = 10$ °С достигается смешением охлажденной t_{wx} и обратной $t_{wоб}$ воды.

На рис. 2 показана схема качественного регулирования режимов охлаждения санитарной нормы приточного воздуха $L_{п.н.мин}$ до выбранной температуры $t_{ок.п.н.}^*$. Смешением в трехходовом моторном регулирующем клапане 5 достигается $t_{w1} = 10$ °С, и выбранный расчетный режим охлаждения отвечает условиям: $t_n = 28,5$ °С, $t_{ок.п.н.} = 22$ °С, $t_{w1} = 10$ °С и $t_{wоб} = 14$ °С.

Для установившегося режима в воздухоохладителе при постоянном влагосодержании характерно следующее уравнение теплового баланса:

$$L_{п.н.мин} \rho_{п.н} c_p (t_n - t_{ок.п.н.}) = G_w c_w (t_{wоб} - t_{w1}) = k F \Delta t_{ср}. \quad (2)$$

При качественном регулировании с применением циркуляционного насоса 9 по схеме на рис. 2 расходы охлаждаемого воздуха $L_{п.н.мин}$ и охлаждающей воды G_w остаются постоянными, что определяет неизменность коэффициента теплопередачи k в воздухоохладителе 1. Площадь поверхности воздухоохладителя F также сохраняется неизменной. Остаются постоянными теплоемкости воздуха c_p и воды c_w . В процессе охлаждения мало меняется и массовая плотность охлаждаемого воздуха $\rho_{п.н.}$. Следовательно, при суточном изменении температуры наружного воздуха t_n изменение охлаждающей способности воздухоохладителя достигается автоматическим изменением только температуры холодной воды t_{w1} с помощью клапана 5 с редукторным электроприводом, управляемым электронным регулятором 3 по импульсам датчиков контроля температур охлажденного воздуха 2 и хладагента 8. Это будет обеспечиваться соответствующим изменением соотношения расходов охлажденной и обратной воды.

Благодаря работе циркуляционного насоса 9 расход воды G_w по трубкам воздухоохладителя 1 будет постоянен и коэффициент теплопередачи k будет сохранять высокие расчетные значения. В работе [2] показано, что при сокращении расхода воды через воздухоохладители в диапазоне падения скоростей воды в трубках от 0,4 до 0,1 м/с отмечается резкое снижение коэффициента теплопередачи (практически в 2 раза). Это приводит к тому, что при регулировании воздухоохладителя путем изменения расхода воды (количественное регулирование) время требуемого снижения его холодопроизводительности увеличится, что вызовет возрастание времени работы холодильных машин. Из этого следует вывод, что методы качественного регулирования режимов охлаждения воздуха обеспечивают сниже-

*Данная и последующие схемы регулирования предлагаются с использованием оборудования и приборов фирм «Данфосс» и «Грундфос».

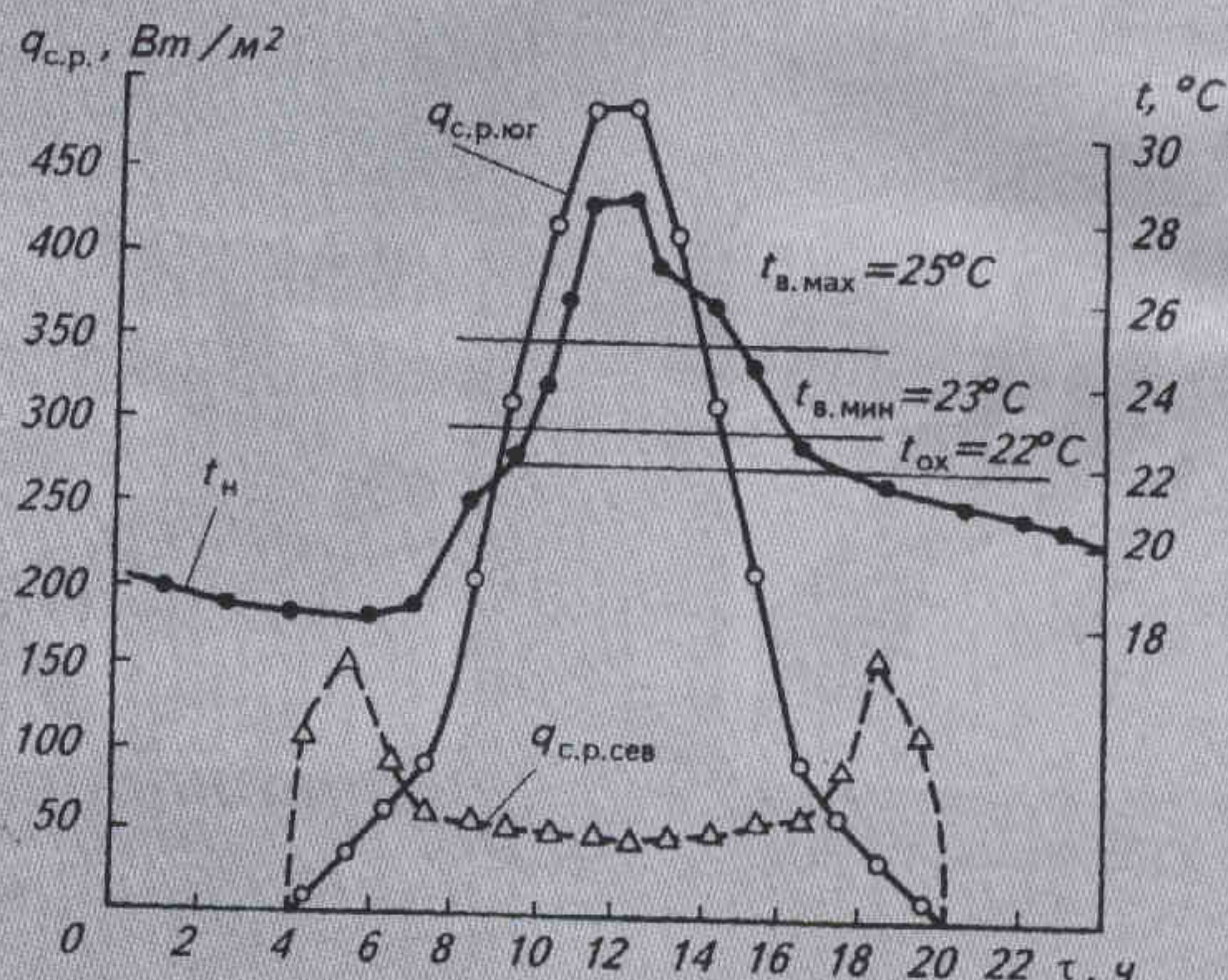


Рис. 1. Характер суточных изменений воздействия наружных климатических условий на ограждающие конструкции помещений южного и северного фасадов здания в г. Москве в теплый период года

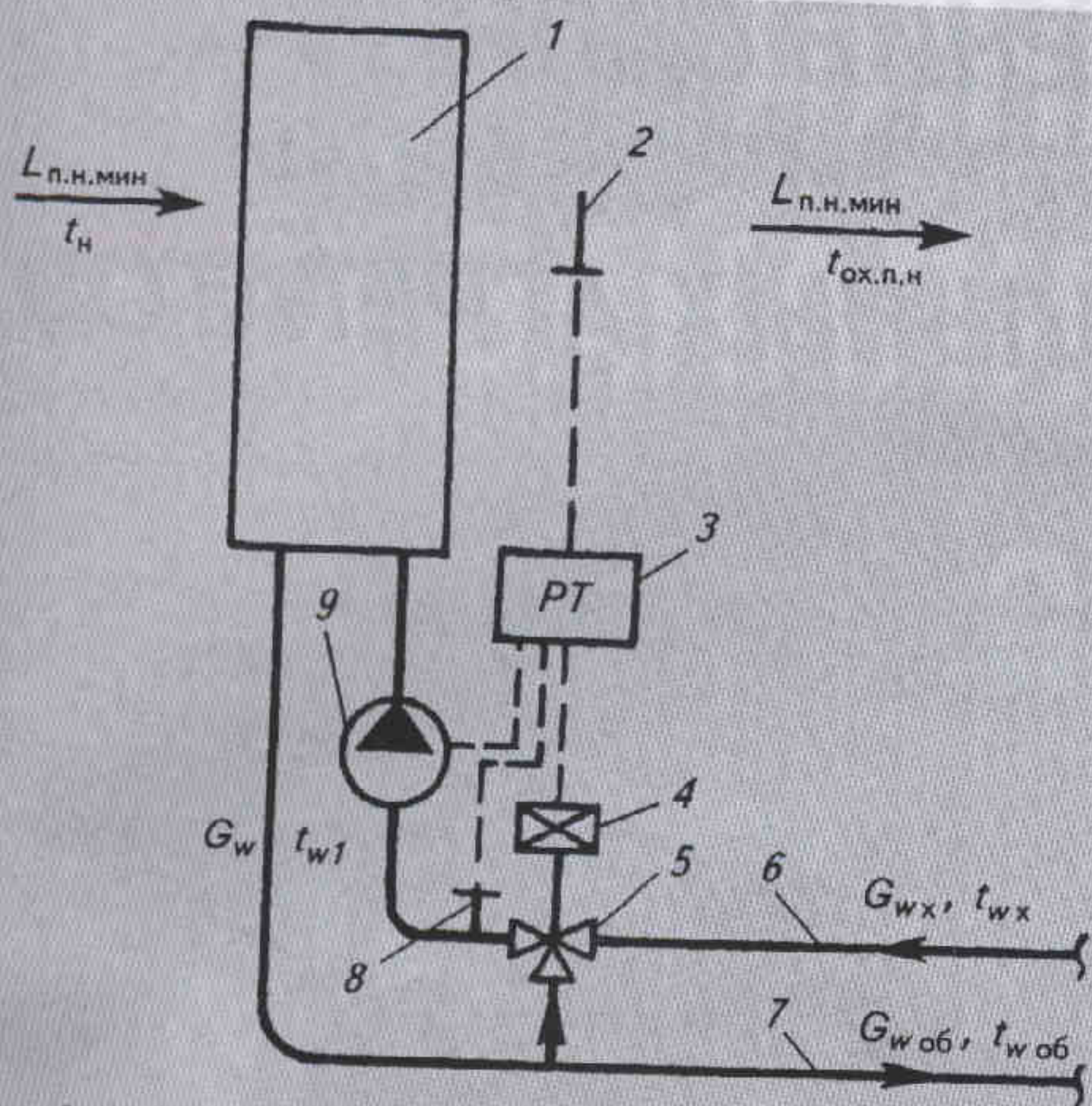


Рис. 2. Схема регулирования режима охлаждения и минимального расхода приточного воздуха:
1 – воздухоохладитель; 2 – датчик контроля температуры охлажденного воздуха; 3 – электронный регулятор температуры ECL comfort 300; 4 – редукторный электропривод типа AMV; 5 – трехходовой седельный регулирующий клапан VR3 или VF3; 6 – трубопровод подачи охлажденной воды от холодильной станции; 7 – обратный трубопровод отработанной воды на холодильную станцию; 8 – датчик контроля минимально допустимой температуры холодной воды t_{w1} ; 9 – бесфундаментный циркуляционный насос UPS

ние времени работы холодильных машин и соответственно сокращение расхода электроэнергии на выработку холода.

В теплый период года в помещениях административных зданий теплоизбытки значительно изменяются по времени суток и в местном воздухоохладителе энергетически целесообразно регулировать интенсивность охлаждения внутреннего воздуха при постоянном влагосодержании. По СНиП [3] в теплый период года оптимальные параметры воздуха (температура и относительная влажность) в обслуживаемой зоне помещения должны быть следующими: $t_n = 25^\circ\text{C}$ и ϕ_n до 60 %. Это отвечает температуре точки росы внутреннего воздуха $t_{p,n} = 16^\circ\text{C}$. Тогда по уравнению (1) минимальная температура холодной воды $t_{w1} = 16 - 4 = 12^\circ\text{C}$.

Холод для местных и центральных воздухоохладителей вырабатывают с помощью холодильных машин. Фирма «Данфосс» производит модульный ряд высококачественных спиральных компрессоров 12 моделей холодопроизводительностью от 15 до 44 кВт при температуре кипения $t_0 = 5^\circ\text{C}$. На базе этих компрессоров при их параллельной работе на общие конденсатор и испаритель могут быть собраны холодильные агрегаты.

На рис. 3 показана принципиальная схема холодильного агрегата S740 из четырех спиральных компрессоров SZ185. Холодопроизводительность каждого компрессора при использовании озонобезопасного хладагента R407C зависит от температуры кипения, которая может быть выбрана потребителем в диапазоне от $+15$ до -15°C . Холодопроизводительность одного компрессора SZ185 при температуре кипения $t_0 = 15^\circ\text{C}$ и конденсации $t_k = 40^\circ\text{C}$ составляет 67925 Вт при потреблении электродвигателем компрессора 9840 Вт электроэнергии, что определяет энергетический показатель выработки холода – холодильный коэффициент

$$\eta_{x,ком} = Q_{x,ком} / N_{эл,ком} = 67925 / 9840 = 6,9.$$

При температуре кипения $t_0 = 15^\circ\text{C}$ в испарителе холодильного агрегата можно получать холодную воду с $t_{wx} = 17^\circ\text{C}$, что может быть достаточно для реализации энергетически целесообразного режима охлаждения приточного воздуха до $t_{ox} = 22^\circ\text{C}$ в центральном кондиционере, как это было показано выше, по данным анализа режима работы СКВ (см. рис.1). Для охлаждения воды, используемой в местных воздухоохладителях, при температуре $t_{w1} = 12^\circ\text{C}$ можно приме-

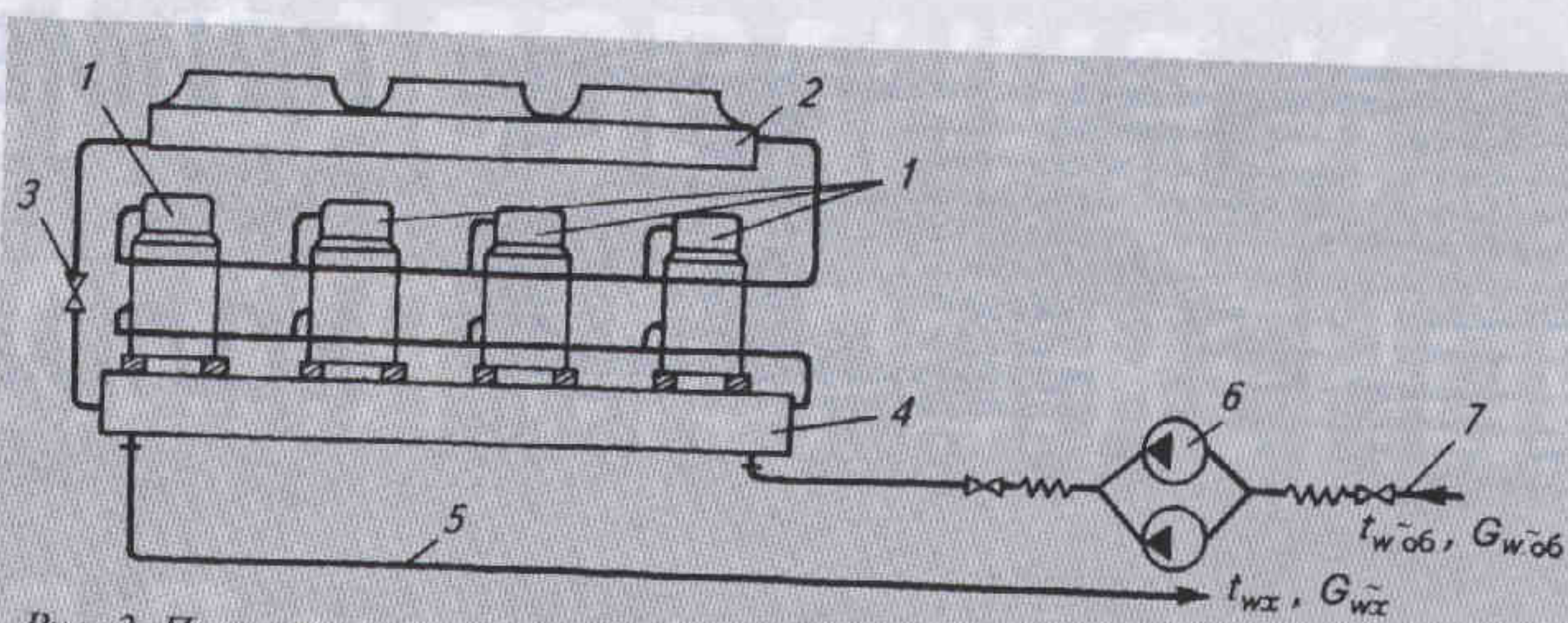


Рис. 3. Принципиальная схема холодильного агрегата S740 из четырех спиральных компрессоров SZ185:
1 – спиральный компрессор SZ185; 2 – общий конденсатор воздушного охлаждения; 3 – терморегулирующий вентиль; 4 – испаритель для охлаждения воды (расход воды G_w); 5 – подающий трубопровод охлажденной воды (расход воды G_w); 6 – циркуляционный насос UPE (основной и резервный); 7 – обратный трубопровод отработанной воды (расход воды G_w)

нять холодильный агрегат с $t_0 = 10^\circ\text{C}$. В этом режиме компрессор SZ185 при $t_k = 40^\circ\text{C}$ будет иметь холодильный коэффициент

$$\eta_{x,ком} = 57011 / 9870 = 5,78.$$

В традиционном режиме применения холодильных агрегатов в СКВ принимают $t_0 = 5^\circ\text{C}$ и $t_k = 40^\circ\text{C}$. Для компрессора SZ185 в традиционном режиме холодильный коэффициент

$$\eta_{x,ком} = 47395 / 9870 = 4,8.$$

Для рассматриваемой местно-центральной СКВ принятые режимы охлаждения в центральном и местных воздухоохладителях могут быть реализованы при $t_0 = 10^\circ\text{C}$. Следовательно, по сравнению с традиционным режимом охлаждения воды при $t_0 = 5^\circ\text{C}$ будет достигаться следующая экономия электроэнергии:

$$(5,78 - 4,8) / 4,8 \cdot 100 = 20 \, \%.$$

Применение в холодильном агрегате S740 четырех компрессоров SZ185 позволяет последовательным включением или выключением электродвигателей компрессоров изменять потребление электроэнергии на выработку холода на 25, 50, 75 и даже на 100 %. Использование метода количественного регулирования числа работающих компрессоров – самый простой и надежный метод регулирования холодопроизводительности.

Этот метод реализуется в схеме на рис. 3, где холодопроизводительность агрегата S740 в реальных условиях составляет: $57 \cdot 4 = 228$ кВт. При работе трех компрессоров производительность снижается до 171 кВт, а при работе двух компрессоров – до 114 кВт. При работе одного компрессора холодопроизводительность составляет 25 % от расчетной и равна 57 кВт.

Из рис.1 следует, что 100%-ная потребность СКВ в холоде существует только от 12 до 14 ч дня расчетных суток в теплый период года. В утренние и вечерние часы работы офисных помещений потребность СКВ в холоде снижается до 25 %. Применение четырехступенчатого холодильного агрегата S740 позволяет существенно сократить суточные затраты электроэнергии на работу компрессоров. Используются общие конденсатор и испаритель, площадь поверхности которых выбирают исходя из расчетной холодопроизводительности холодильного агрегата. В режимах пониженной холодопроизводительности (например, при 50 %) из четырех будут работать только два компрессора, причем тепловые потоки в конденсаторе и испарителе будут вдвое меньше, чем в расчетном режиме. Это обеспечит снижение температуры конденсации и соответственно улучшит энергетические показатели холодильного агрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокорин О.Я. Энергосберегающая технология функционирования систем вентиляции, отопления, кондиционирования (систем ВОВ). – М.: Изд. Проспект, 1999.
2. Кокорин О.Я. Установки кондиционирования воздуха. – М.: Машиностроение, 1978.
3. СНиП 2.04.05–91*. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: ГУП ЦПП, 1997.
4. Каталоги средств автоматизации систем теплоснабжения зданий фирмы «Данфосс».
5. Каталоги насосного оборудования фирмы «Грундфос».