

УДК 629.113:621.43

Основы автоматического регулирования работы автомобильного кондиционера

Канд. техн. наук В. П. ХОХРЯКОВ

Ростовский институт повышения квалификации кадров АПК

Н. А. ХОХРЯКОВА

Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия

A set of equations being the algorithm of the automatic control of operation of the car conditioner is presented. Analysis of the set of equations was carried out on the thermal model «air conditioner – cabin».

Автомобильные кондиционеры предназначены для создания комфортных условий в салоне автомобиля путем охлаждения воздуха, подаваемого в салон, удаления из него влаги и распределения воздуха в соответствии с санитарными требованиями. На рис. 1 представлена принципиальная схема установки кондиционера в автомобиле Mercedes-Benz 350S. Автомобильный кондиционер включает холодильную машину, состоящую из компрессора, конденсатора, ресивера, испарителя и приборов контроля и регулирования.

В настоящее время в области автоматического регулирования работы автомобильного кондиционера происходит пересмотр алгоритмов управления, структур и составов технических средств регулирования, распределения функций контроля, регулирования и управления, объемов и способов представления информации, роли математических моделей и моделирования. Это в первую очередь обусловлено широким ис-

пользованием мини- и микроЭВМ, микроэлектроники, специальных вычислительных комплексов на основе мини-ЭВМ. Кроме того, использование микроэлектроники, новейших приборов и устройств автоматики позволяет создать так называемые встроенные системы автоматического регулирования, составляющие единое целое с кондиционером и салоном.

Наиболее компактными являются системы автоматического регулирования с использованием микропроцессоров. Для реализации конкретной логики управления в этом случае применяют специальные программы, а для изменения или совершенствования системы регулирования – новые программы без внесения изменений в конструкцию кондиционера. Микропроцессоры оборудуются индикаторами состояния с программой периодической проверки работоспособности системы

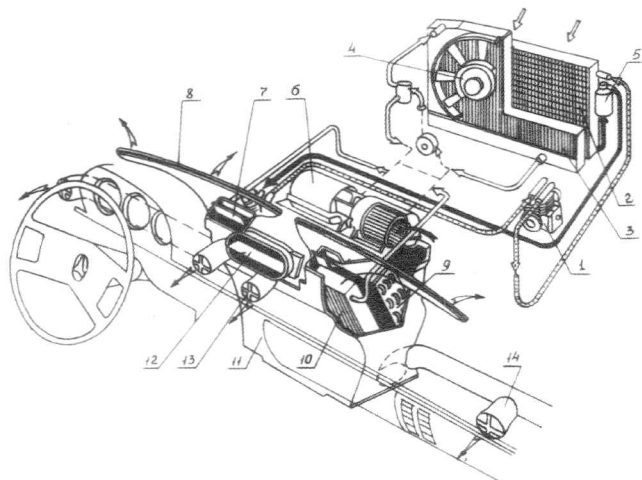


Рис. 1. Принципиальная схема установки кондиционера в автомобиле «Мерседес-Бенц 350 С»:

1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – теплообменник ДВС; 4 – вентилятор; 5 – ресивер; 6 – вентилятор испарителя (отопителя); 7 – заслонки воздуховода; 8 – сопловые дефлекторы обдува ветрового стекла; 9 – испаритель; 10 – отопитель; 11 – корпус; 12 – заслонки воздухораспределителя; 13 – 14 – круглые дефлекторы

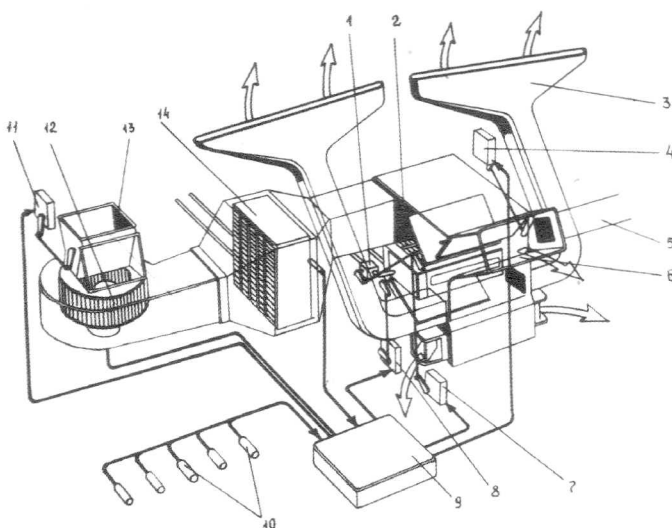


Рис. 2. Принципиальная схема системы автоматического регулирования работы автомобильного кондиционера:

1 – кран подачи воды в отопитель; 2 – корпус; 3 – сопловой дефлектор; 4, 7, 8, 11 – шаговые электродвигатели; 5, 6 – воздухопроводы; 9 – микропроцессор; 10 – датчики (температуры, скорости и влажности воздуха, частоты вращения вентилятора, компрессора и др.); 12 – вентилятор испарителя; 13 – воздухозаборник; 14 – испаритель

регулирования. При этом микропроцессор способен выдавать сигнал потребителю в необходимом для него виде и с высокой точностью преобразования.

В представленной на рис. 2 принципиальной схеме системы автоматического регулирования работы автомобильного кондиционера, разработанной фирмой «Дизель-Кики» (Япония), исполнительные механизмы, соединенные с шаговыми электродвигателями, изменяют положение заслонок в воздуховодах автомобильного кондиционера и частоту вращения вентилятора испарителя по сигналам, вырабатываемым в микропроцессоре.

На рис. 3 представлена блок-схема алгоритма управления заслонками и частотой вращения.

Для поддержания комфортной температуры воздуха в салоне автомобиля в микропроцессор поступают сигналы от датчиков температуры воздуха в салоне и наружного воздуха, интенсивности солнечной радиации, частоты вращения вентилятора испарителя, компрессора, температуры поверхностей трубок испарителя и др. На основе этих данных вычисляется степень открытия заслонки в воздуховоде или частота вращения вентилятора для обеспечения необходимой (комфортной) температуры воздуха в салоне.

Для автоматического регулирования работы кондиционера используют следующие виды управления:

- изменение степени открытия заслонки в воздуховоде и соответственно расхода воздуха, прошедшего через испаритель;

- изменение частоты вращения рабочего колеса вентилятора испарителя;

- включение и выключение электромагнитной муфты привода компрессора;

- переключение поступления воздуха в испаритель снаружи автомобиля или из салона (частичная или полная рециркуляция воздуха).

Каждый вид управления связан с отдельными элементами кондиционера и во многом зависит от их характеристик (время срабатывания, плавность регулировки, линейность характеристики и др.). Однако главная проблема автоматического регулирования – это нестационарность отклика в микропроцессоре. Охлаждение воздуха в автомобильном кондиционере осуществляется в нестационарном режиме, что связано с изменением скорости автомобиля и соответственно изменением скорости наружного воздуха и его расхода (инфильтрация воздуха), изменением температуры и относительной влажности наружного воздуха, интенсивности солнечной радиации, частоты вращения компрессора в зависимости от частоты вращения коленчатого вала ДВС, от которого приводится во вращение компрессор, изменением частоты вращения вентилятора испарителя в связи с изменением напряжения в бортовой сети, изменением теплового режима испарителя при обработке влажного воздуха и др.

В работах [1, 2] представлена тепловая модель «кондиционер – кабина», позволяющая в единой функциональной зависимости учитывать воздействие на температуру воздуха и стенок внутри салона автомобиля многих параметров, а также блок-схема программы расчета системы уравнений нестационарного теплового процесса в салоне, которая может быть использована как алгоритм в микропроцессоре автоматического регулирования работы кондиционера. Однако основную программу, описывающую решение системы уравнений, целесообразно составлять из стандартных подпрограмм, вычисляющих значения элементарных функций, реализующих операции линейной алгебры, численные методы интегрирования и дифференцирования функций, интегрирование дифференциальных уравнений и т. п.

Кроме того, при составлении программы необходимо учитывать, что сигналы температурных, скоростных датчиков, датчиков интенсивности солнечной радиации и др. представляют обычно аналоговые величины и для использования их в микропроцессоре необходимо преобразовать их в дискретные (прерывистые) величины, например, с помощью аналого-цифровых преобразователей, также использующих микроЭВМ, что связано с «отставанием» показания датчика от вычисленного переменного параметра.

В связи с этим система уравнений, представленная в [2], была преобразована с учетом того, что последовательность решения по определению температуры воз-



Рис. 3. Блок-схема алгоритма автоматического регулирования работы кондиционера

духа в салоне невозможна без вычисления температуры воздуха как на выходе из испарителя, так и на выходе из воздухораспределителя. До настоящего времени такая задача перед проектировщиками автомобилей не ставилась. С учетом этого система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & (c_b + c_n d_b) \rho_b V \cdot dT_b / d\tau = \\ & \sum_{i=1}^n \alpha_{bi} S_i (T_{pi}^b - T_b) + N(186 - 1,8T_b) + (1 - \eta_s) IU + \\ & + Q_{инф} + c_b (G_b + G_n) [T_{ви} - (G_b T_b + G_n T_n) / (G_b + G_n)]; \\ & 0,5 \delta_i c_i \rho_i \cdot dT_{pi}^h / d\tau = \alpha_{hi} (T_n - T_{pi}^h) + a_c q_{ci} + a_p q_{pi} - \\ & - \lambda_i (T_{pi}^h - T_{pi}^b) / \delta_i; \\ & 0,5 \delta_i c_i \rho_i \cdot dT_{pi}^b / d\tau = \lambda_i (T_{pi}^h - T_{pi}^b) / \delta_i + \\ & + \sum_{i=1}^n [S_i (D_c q_{ci} + D_p q_{pi}) a_i p_i / \sum S_i^{ocb} - \alpha_{bi} (T_{pi}^b - T_b)], \end{aligned}$$

где c_b, ρ_b, V, T_b, d_b – соответственно теплоемкость [Дж/(кг·°C)], плотность (кг/м³), объем (м³), температура (°C), влагосодержание воздуха в салоне автомобиля (кг/кг);

τ, n, N – соответственно время (с), число теплопередающих стенок кабины автомобиля, число людей в салоне;

c_n – теплоемкость водяных паров, находящихся в воздухе салона, Дж/(кг·°C).

α_b, α_n – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей кабины, Вт/(м²·°C):

$$\alpha_b = 5,4 + 36 W_b, \alpha_n = (3,5 \dots 7,5) W_n^{0,8};$$

W_b, W_n – скорости воздуха внутри кабины вблизи стенок салона и снаружи кабины (включая скорость автомобиля), м/с;

T_b, T_n – температура соответственно внутренней и наружной поверхностей стенок кабины, °C;

η_s, I, U – соответственно КПД электрооборудования, установленного в кабине, сила потребляемого тока (А), напряжение в бортовой сети (В):

$Q_{инф}$ – теплота, поступающая в кабину с инфильтрацией наружного воздуха (Вт):

$$Q_{инф} = c_b \rho_b (T_n - T_b) W_n \cdot 0,014 \xi^{0,6} (1 - L_b \xi^{0,6} / W_n \cdot 0,032);$$

ξ – отношение площади отверстий в неплотностях кабины к площади сечений потоков воздуха на входе в отверстия ($\xi = 0,1 \dots 0,5$);

L_b – расход инфильтрационного воздуха, м³/с;

T_n – температура наружного воздуха, °C:

$$T_n = A_1 - A_2 (\sin 15\tau_c + \cos 15\tau_c);$$

A_1, A_2 – коэффициенты, учитывающие время года

и климатическую зону (для Северного Кавказа в июле $A_1 = 28,3$ °C; $A_2 = 4,25$ °C);

τ_c – время суток, ч;

$\delta, c, \rho, \lambda, S$ – соответственно толщина (м), теплоемкость [Дж/(кг·°C)], плотность (кг/м³), теплопроводность [Вт/(м·°C)] и площадь (м²) стенки кабины;

a_c, a_p – коэффициенты поглощения прямой и рассеянной солнечной радиации наружной поверхностью стенок кабины;

a – коэффициент поглощения проникающей через стекла кабины солнечной радиации внутренними поверхностями салона;

q_c, q_p – удельный тепловой поток прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей на наружные поверхности кабины, Вт/м²;

S^{ocb} – поверхность внутренних стенок кабины, освещенных проникающей солнечной радиацией, м²;

D_c, D_p – коэффициенты пропуска прямой и рассеянной солнечной радиации стеклами кабины;

G_b, G_n – расход поступившего в испаритель соответственно внутреннего и наружного воздуха, кг/с;

$T_{ви}$ – температура воздуха на выходе из воздухораспределителя, °C:

$$T_{ви} = T_n - (T_n - T_{ин}) \exp(-\tau/\tau_0);$$

$T_{ин}$ – температура воздуха на выходе из воздухораспределителя в начальный момент времени ($\tau = 0$), °C;

τ_0 – постоянная времени, характеризующая тепловую инерцию блока испарителя с воздухораспределителем (240... 600 с), с;

T_n – температура воздуха на выходе из испарителя, °C:

$$T_n = T_b - S_i \alpha_n E_n \xi_b (T_{всп} - T_\tau) / [c_b (G_b + G_n)];$$

S_0 – площадь теплопередающей поверхности испарителя, м²;

α_n – коэффициент теплоотдачи испарителя, Вт/(м²·°C);

E_n – коэффициент эффективности оребрения испарителя;

ξ_b – коэффициент влаговываждения;

$T_{всп}$ – среднелинейная температура воздуха в испарителе, °C;

$$T_{всп} = T_b - x(T_b - T_n)/6,$$

x – текущая координата по ширине в испарителе, м;

T_τ – температура стенки трубок испарителя, °C (определяется из равенства):

$$(30 \dots 55,9) (T_\tau - T_n)^{2,5} S_{вн} = \alpha_n E_n \xi_b S_0 (T_{всп} - T_\tau),$$

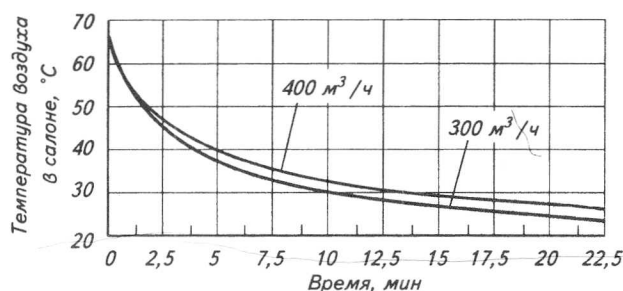


Рис. 4. Зависимость температуры воздуха в салоне от расхода воздуха, прошедшего через испаритель ($T_n = 35^\circ\text{C}$; $\varphi = 0,65$; климатическая зона — 46°с.ш. ; $K_p = 0,85$)

T_x — температура хладагента внутри трубок испарителя, $^\circ\text{C}$;

$S_{\text{ви}}$ — площадь внутренней поверхности трубок испарителя, м^2 .

Представленная система уравнений является алгоритмом автоматического регулирования работы автомобильного кондиционера, т.е. определяет систему вычислений (в данном случае вычисление температуры воздуха в салоне). Анализ системы уравнений проводили на тепловой модели «кондиционер — кабина» со следующими параметрами:

автомобиль — легковой, четырехдверный, кабина — металлическая с внутренней теплоизоляцией, окрашенная снаружи темно-синей краской (коэффициент поглощения солнечной радиации 0,74);

стекла тонированные (коэффициент поглощения — 0,37, пропуска — 0,52);

объем воздуха в салоне $2,7 \text{ м}^3$;

теплопередающие стенки кабины — крыша ($2,06 \text{ м}^2$), двери ($1,6 \text{ м}^2$), задняя стенка ($0,16 \text{ м}^2$), пол ($1,9 \text{ м}^2$), лобовое стекло ($0,9 \text{ м}^2$), стекло передней двери ($0,26 \text{ м}^2$), стекло задней двери ($0,238 \text{ м}^2$), заднее стекло ($0,73 \text{ м}^2$);

климатическая зона — Северо-Кавказская, 48°с. ш. , температура наружного воздуха 35°C , относительная его влажность 65 %, скорость ветра 3,2 м/с, время испытаний — июль (с 12^{40} до 13^{50});

скорость автомобиля — 60 км/ч;

число человек в салоне — 4;

коэффициент рециркуляции 0,85 (15 % наружного воздуха);

кондиционер — фреоновый фирмы «Дизель-Кики» (Япония), площадь теплопередающей поверхности испарителя — $2,82 \text{ м}^2$;

расход воздуха, прошедшего через испаритель 300 — $450 \text{ м}^3/\text{ч}$.

На рис. 4 представлена зависимость изменения температуры воздуха в салоне от расхода воздуха, прошедшего через испаритель. Как видно из представленной зависимости, изменение температуры возду-

ха в салоне — процесс длительный и составляет 20 — 25 мин. При этом изменение расхода воздуха, прошедшего через испаритель от 300 до $400 \text{ м}^3/\text{ч}$, например, за счет изменения положения заслонок в воздуховоде или изменения частоты вращения вентилятора испарителя практически не оказывает влияния на тепло-массообмен в салоне и не может быть эффективным регулятором работы кондиционера.

Тепломассообмен внутри салона зависит от температуры, влажности и подвижности воздуха, наличия струйных течений, образуемых в воздухо-распределителе, распределения параметров воздуха и температуры по поверхностям в салоне.

Кроме того, на тепломассообмен в салоне большое влияние оказывает работа испарителя кондиционера. Например, при обмерзании или загрязнении испарителя понижается давление всасывания и соответственно температура кипения хладагента, но при этом увеличивается сопротивление проходящему через испаритель воздуху и соответственно снижаются расход воздуха и его температура. Одновременно изменяется противодавление в салоне и увеличиваются теплопритоки с инфильтрационным воздухом. Причиной низкого давления всасывания и обмерзания испарителя может быть недостаточная теплопередающая поверхность. В этом случае практически невозможно настроить терморегулирующий вентиль испарителя на заданную величину перегрева.

Более того, процесс охлаждения воздуха в автомобильном кондиционере довольно сложный и в настоящее время нерегулируемый. Например, интенсивность теплопередачи в испарителе от воздуха к хладагенту зависит от теплопередающей поверхности, разности температур между воздухом и кипящим хладагентом, скорости движения хладагента в трубках, отношения площади поверхности ребер к поверхности трубок, интенсивности отвода компрессором парообразного хладагента, а также температуры точки росы воздуха на входе в испаритель и др.

Таким образом, пересмотр алгоритмов автоматического регулирования работы автомобильного кондиционера — сложная, но первостепенная задача в автомобилестроении, так как повышение комфорта в салоне является важным элементом в конкурентной борьбе на автомобильном рынке.

Список литературы

1. Хохряков В. П. Вентиляция, отопление и обеспыливание воздуха в кабинах автомобилей. — М.: Машиностроение, 1987.
2. Хохряков В. П., Крамаренко М. А. Особенности расчета системы «кондиционер — кабина» транспортного средства // Холодильная техника. 1993. № 1.