

*А. П. Меркулов, С. Д. Стенгач,  
Г. С. Изаксон*

## ВИХРЕВАЯ УСТАНОВКА «КЛИМАТ» ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

Испытание автомобильных двигателей внутреннего сгорания и особенно их топливной аппаратуры в различных климатических условиях приобретает важное значение в связи с широким освоением северных районов нашей страны и увеличивающимся экспортом отечественных автомобилей в экваториальные страны.

С этой целью для отработки карбюраторов необходимо иметь установку, обеспечивающую подачу охлажденного или подогретого воздуха с заданной температурой, а также с регулируемым расходом, влажностью и давлением.

Установка должна удовлетворять также следующим требованиям: обеспечивать высокую стабильность выдаваемого потока воздуха, иметь малую инерционность, быть простой в управлении и иметь небольшие габариты.

Этим требованиям в значительной степени удовлетворяет вихревая установка «Климат», разработанная в отраслевой лаборатории тепловых и холодильных машин Куйбышевского авиационного института.

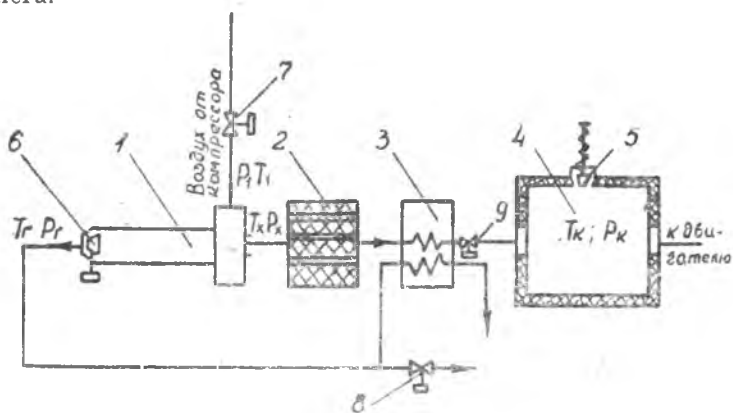
Работа установки основана на вихревом эффекте энергетического разделения воздуха [1], реализуемом в основном ее агрегате — вихревой трубе.

Способность вихревой трубы разделять поток сжатого воздуха на холодный и горячий позволяет перекрыть весь требуемый диапазон температур от  $(-40)$  до  $(+80)^{\circ}\text{C}$ . Принципиальная схема установки изображена на фиг. 1.

Сжатый влажный воздух с давлением  $P_1$  и температурой  $T_1$  через входной кран 7 подается в вихревую трубу 1. В вихревой трубе осуществляется процесс энергетического разделения воздуха на холодный и горячий.

Выходящий из вихревой трубы холодный поток, имеющий давление  $P_x$  и температуру  $T_x$ , содержит большое количество снега,

образующегося в результате конденсации и замерзания воды при охлаждении влажного сжатого воздуха, поэтому из вихревой трубы холодный поток подается в фильтр 2 и полностью очищается в нем от снега.



Фиг. 1. Принципиальная схема установки при холодном режиме работы.

После фильтра холодный поток имеет стопроцентную относительную влажность  $\phi$ , поэтому он подается в теплообменник 3 и подогревается в нем до получения заданной относительной влажности. Из теплообменника воздух с температурой  $T_k$  и влажностью  $\phi$  через кран 9 поступает в расходную камеру 4, в которой с помощью автоматического клапана 5 поддерживается постоянное заданное давление  $P_k$ .

Из расходной камеры часть подготовленного воздуха отбирается в исследуемый карбюратор, а избыточное количество выбрасывается через клапан 5 в атмосферу. Расход воздуха через установку рассчитан так, чтобы обеспечить требуемый максимальный расход через карбюратор на режимах минимальной и максимальной температуры.

Регулирование температурного режима установки осуществляется дросселем 6 горячего конца вихревой трубы.

По мере прикрытия дросселя возрастает доля холодного потока  $\mu$ , представляющая собой отношение весового расхода  $G_x$  холодного потока к расходу  $G$  сжатого воздуха, подаваемого в установку

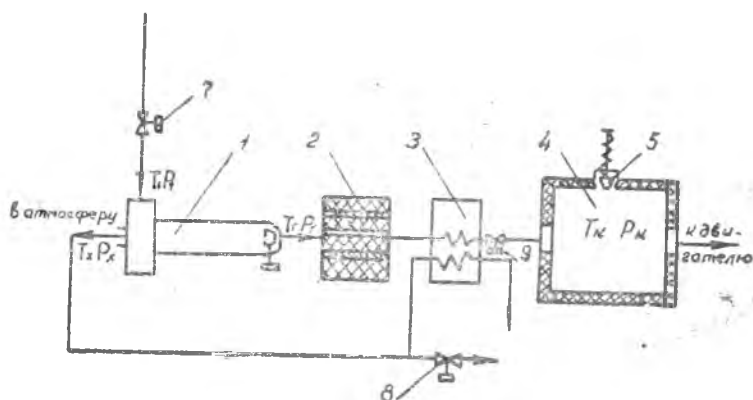
$$\mu = \frac{G_x}{G}$$

С ростом  $\mu > 0,3$  температура  $T_x$  холодного потока плавно повышается. При этом повышается и температура  $T_g$  горячего потока, последний частично направляется в теплообменник 3 для подогрева холодного потока с целью получения требуемой относительной влажности, а частично перепускается через кран 8 в атмосферу.

Требуемый по влажности подогрев холодного потока регулируется краном 8.

Повышение температуры холодного потока и уменьшение его расхода могут быть достигнуты снижением давления  $P_1$  сжатого воздуха перед вихревой трубой, осуществляемым входным краном 7.

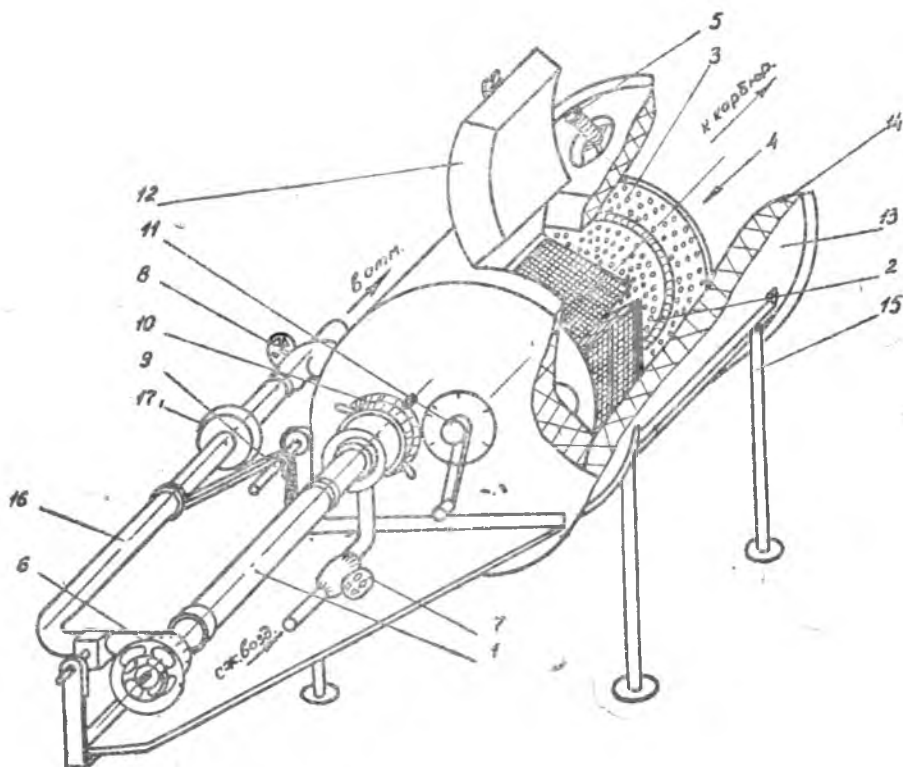
Таким образом, полное регулирование установки может быть осуществлено дросселем 6 и кранами 7 и 8. При необходимости получения в установке подогретого воздуха (для испытания карбюратора при повышенных температурах), вихревая труба переворачивается (фиг. 2) и соединяется своим горячим концом через дроссель 6 с фильтром 2, а холодный конец — с теплообменником 3 и краном 8. В этом случае горячий поток из вихревой трубы поступает в фильтр, где очищается от твердых частиц и капель масла. Горячий поток имеет пониженную относительную влажность, поэтому при необходимости имитировать тропические условия, т. е. получать  $\varphi \approx 100\%$  он может быть увлажнен подачей воды на развитую поверхность фильтра, омываемую горячим потоком. Затем увлажненный горячий поток проходит через теплообменник и поступает в расходную камеру с температурой  $T_k$ . Требуемое давление  $P_k$  в расходной камере поддерживается автоматически клапаном 5, который может быть предварительно отрегулирован на заданное  $P_k$ . Клапан 5 может поддерживать постоянное избыточное давление только в случае, если количество поступающего в расходную камеру воздуха больше, чем количество, отбираемое на карбюратор. Для имитации условий работы карбюратора в высокогорных районах с пониженным атмосферным давлением в установке предусматривается кран 9, прикрытием которого можно установить заданное пониженное давление в расходной камере.



Фиг. 2. Принципиальная схема установки при горячем режиме работы.

Общий вид установки «Климат» изображен на фиг. 3. Она представляет собой цилиндрический корпус 13, смонтированный на ножках 15. На кронштейне торцевой стенки корпуса на оси 9 укреплена вихревая труба 1, соединяющаяся при помощи накидной гайки 10 с отверстием в торцевой стенке.

Внутренняя полость корпуса покрыта толстым теплоизолирующим слоем из вспененного полистирола, обеспечивающим малую тепловую инерционность стенок камеры.



Фиг. 3. Общий вид установки «Климат»

С внутренней стороны торцевой стенки установлена турельная пластина с шестью трапецевидными фильтрами 2, закрепленными в пазах по окружности. Турельная пластина с фильтрами может поворачиваться вокруг своей оси при помощи ручки 11, что позво-

ляет попеременно устанавливать один из фильтров против отверстия в торцевой стенке. Каждый фильтр представляет собой сетчатый каркас, заполненный алюминиевой стружкой.

Благодаря большой поверхности сеток и заполняющей объем стружки каждый фильтр способен улавливать выпавший из холодного потока снег в течение 30 минут работы установки на режиме максимального расхода. По истечении этого времени без выключения установки поворотом турельной пластины заполненный снегом фильтр заменяется чистым. Так как все фильтры в процессе работы установки находятся в полости корпуса и омываются холодным потоком, их замена не приводит к изменению температурного режима установки, и в отработавших фильтрах снег не тает. Замена использованных фильтров с целью их очистки от снега достаточно быстро может быть произведена через откидной люк 12. После очистки в фильтрах от снега холодный воздух проходит через теплообменник 3, представляющий собой перфорированную медную пластину с приваренной к ней плоской трубчатой спиралью.

Так как для подсушки воздуха от  $\varphi=100\%$  до минимально требуемого значения  $\varphi=60\%$  необходим подогрев его на  $3-5^\circ$ , большой поверхности теплообмена не требуется, если учесть, что температура потока, подаваемого в трубчатую спираль теплообменника, довольно высокая и лежит в пределах  $60-80^\circ\text{C}$ , обеспечивая большой перепад температуры между обменивающимися теплом потоками.

Установленный на корпусе клапан 5 поддерживает постоянное давление в расходной камере 4 за счет перепуска избыточного воздуха в атмосферу. Расходная камера имеет открытую торцевую часть, которой она соединяется с рабочим объемом испытательного стенда.

Вихревая труба 1 питается сжатым воздухом, подаваемым в нее через кран 7, и управляется установленным на ее горячем конце дросселем 6. Горячий поток вихревой трубы через трубку 16 и муфту 17 подходит к крану 8, из которого частично перепускается в трубчатую спираль теплообменника и в атмосферу.

Для работы на режимах повышенных температур гайка 10 отвинчивается, разъединяется муфта 17 и вихревая труба поворачивается вокруг оси 9 на  $180^\circ$ .

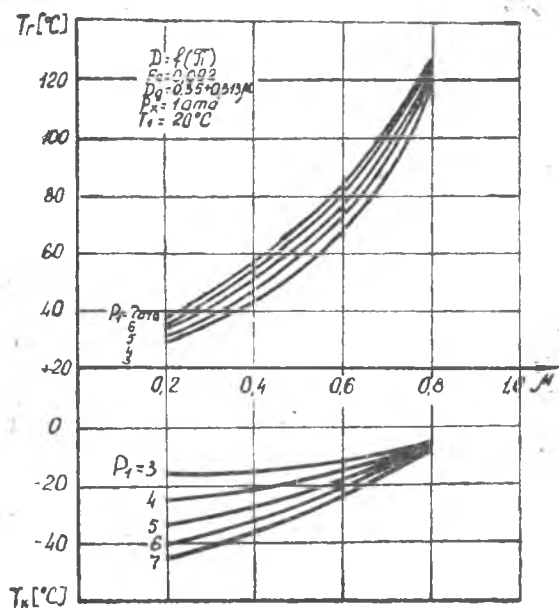
Гайка 10 навинчивается на муфту 17, а холодный конец вихревой трубы соединяется с патрубком крана 8.

Таким образом, обеспечивается подача горячего потока в полость корпуса, а холодного — через кран 8 в атмосферу. Управление температурой и расходом горячего потока производится дросселем 6, обеспечивающим изменение весовой доли холодного потока, а также изменением давления на входе в вихревую трубу с помощью крана 7 или перепуском холодного потока в теплообменник через кран 8.

Установка «Климат» спроектирована по следующему техническому заданию:

1. Давление сжатого воздуха  $P_1 = 7 \text{ атa}$ ;
2. Температура сжатого воздуха  $T_1 = 20^\circ\text{C}$ ;
3. Расход сжатого воздуха  $1200 \text{ нм}^3/\text{час}$ ;
4. Минимальная температура холодного потока  $T_x = (-40)^\circ\text{C}$ ;
5. Расход холодного потока при минимальной температуре  $300 \text{ нм}^3/\text{час}$ .
6. Максимальная температура горячего потока  $T_r = 80^\circ\text{C}$ ;
7. Расход горячего потока при максимальной температуре  $300 \text{ нм}^3/\text{час}$ ;
8. Влажность холодного и горячего потока  $\phi = 60 \div 100\%$ ;
9. Точность поддержания температуры выдаваемого установкой потока  $\pm 1^\circ$ .

Вихревая труба рассчитывалась по обычной методике [2].



Фиг. 4. Кривые зависимости достижимых температур от весовой доли  $\mu$  холодного потока и давления сжатого воздуха  $P_1$ .

Как видно из фиг. 4, это условие реализовать для рассматриваемого случая невозможно, так как минимальная заданная температура холодного потока  $(-40)^\circ\text{C}$  достигается при  $\mu \approx 0,3$ , а максимальная температура горячего потока  $80^\circ\text{C}$  — при  $\mu \approx 0,6$ .

Соответственно этому для получения минимальной температуры холодного потока при  $\mu = 0,3$  необходимо у вихревой трубы

Результаты расчета достижимых температур в зависимости от весовой доли  $\mu$  холодного потока, давления сжатого воздуха  $P_1$  и относительной влажности  $\phi$  представлены на фиг. 4. Следует заметить, что при заданном общем расходе сжатого воздуха геометрические размеры вихревой трубы зависят как от выбранного давления  $P_1$ , так и от  $\mu$ . Давление  $P_1$  задано, а величину  $\mu$  желательно выбрать из условия, чтобы при этом обеспечивались заданные минимальная температура холодного и максимальная температура горячих потоков.

иметь диафрагму с относительным диаметром отверстий (отношением диаметра  $D_g$  отверстия диафрагмы к диаметру  $D$  вихревой трубы  $\bar{d}_g = \frac{D_g}{D}$ )  $\bar{d}_g = 0,45$ ; для получения максимальной температуры горячего потока при  $\mu = 0,6$  необходимо иметь диафрагму с  $\bar{d}_g = 0,54$ .

При переходе с режима охлаждения на режим подогрева требуется производить замену диафрагмы вихревой трубы. Заметный рост температуры горячего потока с увеличением  $\mu$  (доля горячего потока при этом уменьшается) позволяет получить и при малых  $\bar{d}_g$  нужную максимальную температуру горячего потока, но при

уменьшенном расходе его, поэтому замену диафрагмы можно производить только для режимов, требующих максимального расхода воздуха при максимальном подогреве его.

Как указывалось ранее, для получения заданной относительной влажности в установке «Климат» осуществляется подогрев очищенного от снега холодного потока.

Согласно расчетам, для снижения

Фиг. 5. Кривые зависимости достижимых температур холодного потока от весовой доли холодного потока и относительной влажности  $\varphi$ .

относительной влажности от  $\varphi = 100\%$  до  $\varphi = 60\%$  этот подогрев составляет около  $5^\circ$ .

На фиг. 5 представлены кривые зависимости по  $\mu$  достижимых температур холодного потока установки «Климат» для давления сжатого воздуха  $P_1 = 6 \text{ атa}$  и его стопроцентной относительной влажности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Меркулов. Вихревые холодильно-нагревательные установки и их расчет. Куйбышевское книжное издательство, 1961.
2. А. П. Меркулов. Характеристики и расчет вихревой трубы. «Холодильная техника» № 3, 1958.