

Челябинский государственный технический университет

На правах рукописи

Петров Александр Павлович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ТРАКТА
СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
ДВИГАТЕЛЯ ДИЗЕЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ

05.05.03 - автомобили и тракторы

05.04.02 - тепловые двигатели

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск-1983

Работа выполнена на кафедре "Автомобили" Курганского машиностроительного института.

Научные руководители: доктор технических наук, профессор,
академик АПР А.С. Терехов
кандидат технических наук, доцент
Р.Н. Шитко

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
академик АПР Б.А. Маминин
кандидат технических наук, доцент
Л.К. Зайцев

Ведущая организация: АО "Волжский автомобильный завод"
(г. Тольятти)

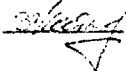
Защита состоится "23" декабря 1993 г. в 15 часов на заседании специализированного совета К 053.13.02 при Челябинском государственном техническом университете (адрес: 454000, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета. Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять ученому секретарю совета по вышеуказанному адресу.

Автореферат разослан "14" ноября 1993 г.

© Курганский машиностроительный институт, 1993

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук

 В.В. Жестков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для работы системы жидкостного охлаждения двигателя легкового автомобиля тратится значительное количество энергии, причем большая часть для подачи охлаждающего воздуха. При работе вентилятора происходит прямое потребление энергии, а подача воздуха под действием набегавшего потока происходит за счет увеличения аэродинамического сопротивления автомобиля.

В настоящее время задача конструирования воздушного тракта усложнилась тем, что растет мощность двигателей автомобилей и их максимальная скорость, а, с другой стороны, условия работы системы охлаждения все более ухудшаются. Это прежде всего связано с жесткими требованиями к аэродинамической форме автомобиля, приведшими к сжатию линии капота, когда все меньше места остается для размещения радиатора и выгодного размещения воздухозаборных отверстий. Уменьшается площадь проходного сечения воздухозаборных отверстий. Плотная компоновка канала воздушного тракта также затрудняет движение охлаждающего воздуха.

Накоплен большой опыт по вопросам обеспечения подачи воздуха для охлаждения двигателя автомобиля, но традиционный подход к этой проблеме, по ряду вышеперечисленных причин, уже не отвечает современным требованиям. До сегодняшнего дня основным методом конструирования воздушного тракта остается метод многократных изменений. Но существующие методики доводки воздушного тракта не приспособлены к новым условиям конструирования, и поиск оптимальной конструкции тракта сопровождается большими временными и материальными затратами.

Цель работы. Разработка методики поиска оптимальной конструкции воздушного тракта системы жидкостного охлаждения двигателя легкового автомобиля на стадии доводки, обеспечивающей сокращение времени доводки системы охлаждения и повышение ее эффективности.

Научная новизна. Разработана эффективная методика анализа конструкции воздушного тракта системы жидкостного охлаждения двигателя легкового автомобиля. Определены факторы, формирующие поле скоростей охлаждающего воздуха по фронтальной поверхности радиатора. Получены зависимости для определения влияния неравномерности поля скоростей воздушного потока на тепловую эффективность и аэродинамическое сопротивление радиатора.

Практическая ценность. Разработанный расчетный механизм

позволяет на стадии проектирования и ранних стадиях доводки автомобиля более точно оценить эффективность системы охлаждения. Реализованная методика испытаний дает возможность, целенаправленно, в короткие сроки с минимальными затратами, осуществлять доводку воздушной части системы охлаждения двигателя автомобиля. Даны рекомендации, позволяющие получать конструкции передней части воздушного тракта, обеспечивающую равномерный подвод воздуха к радиатору, и снизить аэродинамическое сопротивление тракта.

Реализация результатов работы. Методика испытаний, связанных с осуществлением измерения скорости охлаждающего воздуха внедрена на Волжском автомобильном заводе в отделе доводки двигателей и получила положительный отзыв. Результаты работы используются в учебном процессе Курганского машиностроительного института для проведения лабораторных занятий.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались: на Научно-практической конференции "Разработка и применение новой техники, технологии и автоматизированных систем в промышленности" (г. Курган, 1988); на II (1988), III (1989) и IV (1990) Уральском семинаре "Проблемы проектирования конструкций", Уральское отделение академии наук СССР, Миасс; на Российской школе по проблемам проектирования неоднородных конструкций (г. Миасс, 1991).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и заключения, приложения и содержит 105 страниц основного текста, 56 иллюстраций (43 стр.) и список литературы из 110 наименований и 9 страниц приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Состояние вопроса и постановка задачи. Проведен аналитический обзор исследований, по вопросам подачи воздуха в системе жидкостного охлаждения двигателя, в опубликованных работах Е.А. Будим, А.И. Буравцова, В.В. Буркова, Б.Я. Гилева, В.А. Добрякова, А.Н. Евграфова, В.А. Мамедова, М.Г. Пантыкина, Н.Т. Умирова, В.В. Фильмонова, Э.Е. Хмельницкого, М.Е. Олсон, В.Г. Гухо, Д.П. Чу, А. Костелли, П. Габриэль, Д. Глорданенко, Х. Катагири, Ю. Танигути, М. Судзуки, Г. Фенкель, К. Тику и т. д.

Как показал анализ отечественной, литературы теоретические разработки по вопросам обеспечения движения воздуха в системе охлаждения (значительные в свое время) давно не отвечают потреб-

ностям развития отечественной автомобильной промышленности.

Обзор зарубежной печати показал, что накоплен большой экспериментальный материал в этом направлении и начаты активные теоретические обобщения и проработки. До сегодняшнего дня основным остается экспериментальный метод разработки воздушного тракта.

Внутреннее течение воздуха через канал системы охлаждения имеет существенное влияние на аэродинамическое сопротивление движению автомобиля. Система охлаждения легкового автомобиля дает увеличение аэродинамического сопротивления автомобиля до 10 и более процентов.

Тенденция развития современного легкового автомобиля все более усложняет проблему конструирования воздушного тракта системы охлаждения. Изменившиеся условия подачи охлаждающего воздуха заставляют искать новые подходы для совершенствования воздушного тракта системы охлаждения.

Для подачи охлаждающего воздуха необходимы затраты энергии, но часто этот процесс сопровождается неоправданными потерями. Среди них выделены две - это снижение теплоотдачи радиатора в связи с неравномерным распределением скорости потока воздуха по фронтальной поверхности радиатора и аэродинамические потери. В первом и во втором случае эти потери приходится компенсировать дополнительными затратами энергии.

Подвергнув анализу методики испытаний и доводки воздушного тракта. Воздушный тракт и эффективность подачи охлаждающего воздуха в основном оценивается по сопротивлению элементов тракте и расходу воздуха. Методики измерения других параметров воздушного потока, применяемые обычно, приводят к большим искажениям реальных величин.

Исходя из анализа состояния вопроса, сформулированы следующие задачи исследования:

1. Исследовать физическую картину формирования потоке охлаждающего воздуха, его движение и распределение по фронтальной поверхности радиатора. Установить факторы влияющие на равномерность распределения потока воздуха и оценить возможность выравнивания воздушного потока по радиатору и снижения аэродинамического сопротивление тракта.
2. Усовершенствовать методику расчета теплоотдачи радиатора с учетом неравномерного поля скоростей охлаждающего воздуха по фронтальной поверхности.
3. Определить параметры поля скоростей воздушного потока и

его взаимодействие с радиатором, приводящие к снижению теплотдачи последнего. Разработать методику определения степени снижения теплотдачи радиатора из-за неравномерности потока воздуха.

4. Определить влияние неравномерности воздушного потока, проходящего через радиатор, на его общее аэродинамическое сопротивление.

5. Разработать методику доводки воздушного тракта системы жидкостного охлаждения двигателя легкового автомобиля.

Теоретический анализ движения воздуха по воздушному тракту системы охлаждения и поиск путей совершенствования тракта. Почему происходит неравномерное распределение воздушного потока по фронтальной поверхности радиатора и как выровнять этот поток? Более полно ответить на эти вопросы можно, изучив физическую картину движения воздуха по воздушному тракту системы охлаждения. Необходимо выяснить картину движения воздуха в предрадиаторной камере, поскольку именно здесь происходит формирование и распределение потока, проходящего через сердцевину радиатора. При этом воздухозаборные отверстия, предрадиаторная камера и радиатор составляют большую часть аэродинамического сопротивления воздушного тракта.

Предрадиаторная камера представляет собой ограниченный со всех сторон объем в передней стенке которого имеется входное отверстие, а задней стенкой служит радиатор, причем эта стенка имеет полупроводящие свойства.

Распространение потока воздуха в условиях свободного и стесненного пространства исследовано Г.Н. Абрамовичем, М.И. Григитлиным, В.Н. Талиевым, И.А. Шепелавым и др. На основании анализа этих работ можно заключить, что поток, втекающий в предрадиаторную камеру, не сразу заполняет все поперечное сечение камеры. После отрыва от кромки воздухозаборного отверстия поток имеет четкую форму и движется в виде струи (более половины пути до радиатора). Лишь на некотором расстоянии перед радиатором струя меняет направление и растекается по поверхности радиатора. При этом радиатор выполняет двойное действие: с одной стороны радиатор является препятствием для прохождения воздуха и вынуждает поток перераспределяться по поперечному сечению камеры, но, с другой стороны поток, проникает через его сердцевину на том или ином участке. То есть распределение воздушного потока по фронтальной поверхности радиатора зависит не только от конструктивных воздухозаборных отверстий и предрадиаторной камеры, но и от

проницаемости радиатора (аэродинамического сопротивления).

В предрадиаторной камере при перераспределении воздушного потока происходит сложный процесс. Радиатор в этом процессе играет особую роль. Подобная проблема распределения воздуха была исследована И.Л. Повхом. Он исследовал влияние сетки, установленной в трубе, на выравнивание поля скоростей воздушного потока по поперечному сечению канала. Было установлено, что сетки с разным аэродинамическим сопротивлением оказывают на поток различное выравнивающее действие. Получена зависимость степени выравнивающего действия сетки от ее проницаемости. Такое же действие на поток воздуха оказывает радиатор в предрадиаторной камере.

На практике возможно такое явление, что возникает при движении потока воздуха по Z-образному колену, исследованному И.Е. Идельчиком. Такое колено в зависимости от расстояния между осями подводящего и отводящего каналов имеет разное аэродинамическое сопротивление. В начале при увеличении межосевого расстояния сопротивление Z-образного колена резко увеличивается, а при достижении некоторой максимальной величины - увеличение межосевого расстояния приводит к плавному уменьшению сопротивления.

Предрадиаторная камера также может быть рассмотрена в виде Z-образного колена: воздухозаборное отверстие, сама камера и радиатор составляют определенные части колена. При этом радиатор играет роль своеобразной стенки канала и одновременно является рассредоточенным отверстием второй части колена. В данном случае межосевое расстояние - это расстояние между осью соответствующей части сердцевин радиатора, т.е. той части Z-образной траектории потока воздуха аэродинамическое сопротивление которой рассматривается. При определенном сочетании конструкции, геометрических размеров воздухозаборного отверстия, предрадиаторной камеры, радиатора и аэродинамического сопротивления радиатора возможна ситуация, когда на участки площади радиатора находящиеся, на максимальном удалении от оси воздухозаборного отверстия может, попасть большее количество воздуха чем на близлежащие. Такое явление будет возможным, когда сопротивление участка пути до дальней точки радиатора будет меньше, чем до ближней. Участок радиатора, находящийся напротив воздухозаборного отверстия всегда получит максимальное количество воздуха, поскольку поток в этом месте не испытывает искривления, и сопротивление этого участка пути минимальное.

Знание физической картины движения и распределения потока в предрадиаторной камере дает возможность правильно воздействовать на условия способствующие равномерному распределению потока по фронту радиатора и уменьшению аэродинамического сопротивления тракта. Для этих целей в предрадиаторной камере могут быть установлены всевозможные направляющие элементы и. д. Кроме этого, знание физической картины движения потока воздуха позволяет разработать эффективную методику экспериментальных исследований.

Влияние неравномерно распределенной скорости воздуха на теплоотдачу и общее аэродинамическое сопротивление радиатора. Известно, что радиатор рассеивает меньшее количество тепла при обдуве его потоком воздуха, имеющим неравномерную эпюру скоростей, чем при обдуве его равномерным потоком при том же расходе. В реальных условиях не всегда удается получить высокую равномерность распределения скорости воздуха по поверхности радиатора. Поэтому необходима количественная оценка степени снижения теплоотдачи радиатора для определения целесообразности выполнения мероприятий по изменению конструкции воздушного тракта с целью выравнивания поля скоростей.

Ранее расчет теплоотдачи радиатора с учетом неравномерного поля скоростей охлаждающего воздуха в конструкторской практике был ограничен, поскольку считалось, что это связано с большим объемом вычислительных работ. В настоящее время препятствий для этого нет. Для этих целей была разработана методика и программа, предназначенная для выполнения инженерных расчетов.

Методика расчета теплоотдачи радиатора с учетом неравномерности воздушного потока основана на следующем принципе: сердцевина радиатора разбивается на определенное количество элементарных участков, каждый элемент, в свою очередь, считается самостоятельным теплообменником. Скорость воздуха через каждый элемент задается в соответствии с эпюрой поля скоростей, полученной в результате измерений скорости охлаждающего воздуха на участках радиатора, установленного на макете или на автомобиле. Для вычисления используется стандартная тепловая характеристика сердцевин радиатора. По этой методике может быть рассчитан радиатор с любым количеством ходов и заходов охлаждающей жидкости.

Расчет начинается с определения температуры жидкости на входе в радиатор $t_{в}$, предполагая, что радиатор обдувается равномерным потоком при том же расходе как в заданном поле скоростей. Эта температура всегда будет ниже, чем температура жидкости на

входе в радиатор при реальном поле скоростей воздуха, поэтому она используется как начальное итерационное приближение.

Затем начинается основной расчетный цикл. Расчет ведется отдельно для каждой параллельной "струи жидкости", количество которых соответствует количеству рядов элементов (на которые разбит радиатор) в поперечном сечении хода радиатора. Расчет начинается с первого ряда элементов от входного патрубка. В первом итерационном цикле предполагается, что температура на входе в первые элементы хода равна температуре $t_{\text{ж}}$, определенной для равномерного поля. Используя уравнение теплового баланса между теплотой, подведенной к жидкости к элементу, и теплоотдачей этого элемента можно найти разность температур жидкости на входе и выходе из элемента. Одновременно с этим вычисляется количество теплоты, рассеянной элементом. Так по каждой "струйке" хода.

Далее вычисляется температура жидкости на выходе из элемента. В свою очередь жидкость с этой температурой поступает на вход следующего элемента. В конце хода жидкость, прошедшая через элементы, смешивается в коллекторе и приобретает среднеарифметическую температуру "слившихся струек". Затем поток вновь условно делится по элементам и расчет продолжается по следующему ходу радиатора до выпускного патрубка.

По окончании цикла происходит проверка условия выполнения теплового баланса системы охлаждения в целом. Если условие не выполняется, производится увеличение на шаг температуры жидкости на входе в радиатор $t_{\text{ж}}$ и вычисления повторяются до тех пор, пока условие не будет выполнено с заданной степенью точности. Температура $t_{\text{ж}}$ при которой условие выполняется и есть искомая температура.

В процессе вычислений происходит коррекция теплоемкости и плотности охлаждающей жидкости в соответствии с ее температурой и теплофизическими свойствами.

Исследованы факторы, вызывающие снижение теплоотдачи радиатора из-за неравномерно распределенной скорости воздуха по фронтальной поверхности радиатора. Как показал анализ, теплоотдача разных радиаторов в разной степени зависит от неравномерности поля скоростей охлаждающего воздуха.

Коэффициент реализации потенциальных свойств радиатора η зависит от двух факторов: коэффициента неравномерности поля скоростей ψ и коэффициента чувствительности радиатора к неравномерности поля ϕ , $\eta = 1 - \psi\phi$. Коэффициент неравномерности поля ско-

ростей выражает относительное отклонение локальной скорости воздуха по фронтальной поверхности радиатора от среднего значения скорости:

$$v = \frac{\sigma}{V_0} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n} (v_t - V_0)^2}}{V_0}$$

где σ - среднеквадратичное отклонение скорости воздуха по фронту радиатора;

V_0 - средняя скорость потока воздуха проходящего через радиатор;

n - количество участков, на которых измерена скорость;

v_t - величина скорости воздуха на локальном участке.

Для вычисления коэффициента чувствительности теплоотдачи радиатора к неравномерности поля, по специальной методике, получено выражение:

$$\phi = \frac{V_0 + \chi}{V_0} \frac{4 \int f(V) dV - [f(V_0 - \chi) + 3f(V_0 + \chi)] \chi}{[f(V_0 + \chi) - f(V_0 - \chi)] \chi}$$

где $f(V)$ - функция теплоотдачи радиатора от скорости воздуха;

χ - значимый диапазон разброса локальной скорости воздуха.

Значимый диапазон разброса получен с помощью описанной выше методики и близок значению

$$\chi \approx \frac{\sigma}{V_0}$$

Зная тепловую характеристику радиатора, можно легко определить коэффициент α по заданной неравномерности поля. Величина α всегда меньше единицы.

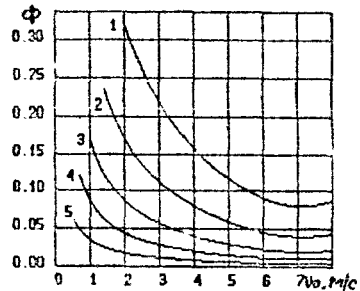
Расчеты показали, что наибольшая величина ϕ получается при малых значениях средней скорости воздуха. То есть, чем меньше скорость воздуха, тем в большей степени теплоотдача радиатора зависит от среднеквадратичного отклонения скорости воздуха по полю (рис. 1). Чем больше среднеквадратичное отклонение скорости воздуха тем больше коэффициент ϕ при всех значениях средней скорости.

Воспользовавшись вышеизложенной методикой, в качестве примера определим коэффициент реализации потенциальных свойств радиатора, при обдуве его потоком воздуха с разными параметрами. Для большей наглядности параметры поля скоростей выбраны с таким расчетом, что коэффициент неравномерности поля во всех случаях одинаков и равен 0,5. При этом степень снижения теплоотдачи радиатора в значительной степени изменяется в зависимости от средней скорости воздуха по фронту радиатора. Так, при средней скорости воздуха 2 м/с теплоотдача радиатора уменьшится на 4,4% по сравнению с равномерным полем при том же расходе воздуха, при скорости 4 м/с — на 4,0%, при скорости 6 м/с — на 3,4%, при скорости 8 м/с — на 4,4%. Как видим высокая неравномерность поля скоростей приводит к заметному снижению теплоотдачи радиатора.

Кроме отрицательного влияния неравномерно распределенной скорости потока воздуха по фронтальной поверхности радиатора на его теплоотдачу, такой поток увеличивает общее аэродинамическое сопротивление радиатора по сравнению с сопротивлением радиатора, обдуваемого равномерным потоком при том же расходе воздуха. Для определения степени изменения общего аэродинамического сопротивления радиатора также получено выражение для вычисления коэффициента чувствительности общего аэродинамического сопротивления радиатора к неравномерности поля скоростей:

$$\varphi = \frac{\int_{v_0-\chi}^{v_0+\chi} [F(v_0-\chi) + 3F(v_0+\chi)] \chi - 4 \int F(v) dv}{[F(v_0+\chi) - F(v_0-\chi)] \chi}, \quad (1)$$

Зависимость коэффициента чувствительности теплоотдачи радиатора от средней скорости воздуха



$$1 - \frac{\sigma}{V_0} = \frac{4,0}{V_0}; \quad 2 - \frac{2,0}{V_0};$$

$$3 - \frac{1,0}{V_0}; \quad 4 - \frac{0,5}{V_0}; \quad 5 - \frac{0,1}{V_0};$$

Рис. 1

где $P(V)$ - функция потери давления на радиаторе от скорости воздуха.

На рис. 2 показано, как изменяется коэффициент ϕ в зависимости от средней скорости воздуха проходящего через радиатор. С ростом среднеквадратичного отклонения и средней скорости воздуха увеличивается ϕ , а вместе с ним и общее аэродинамическое сопротивление радиатора. Коэффициент изменения аэродинамического сопротивления радиатора при неравномерном поле скоростей можно найти по формуле

$$K=1+\phi \quad (2)$$

($K>1$).

Так как сопротивление радиатора составляет большую часть сопротивления воздушного тракта, то небольшое увеличение аэродинамического сопротивления радиатора из-за неравномерности поля скоростей воздушного потока приведет к существенному снижению расхода воздуха через радиатор.

Для примера рассмотрим варианты воздушных потоков, проходящих через радиатор, с параметрами, которые использованы в предыдущем примере. С помощью формул (1) и (2) вычислим величину увеличения общего аэродинамического сопротивления радиатора. При одном и том же коэффициенте неравномерности поля скоростей (0,5) аэродинамическое сопротивление радиатора увеличится на 5,9% при средней скорости воздуха 2 м/с, на 3,4% при скорости 4 м/с, на 2,4% при скорости 6 м/с и на 1,9% при скорости 8 м/с. Если принять, что аэродинамическое сопротивление радиатора составляет 72,4% (ВАЗ-2108) от общего сопротивления тракта, то аэродинамическое сопротивление всего тракта увеличится на 4,5, 2,5, 1,5 и 1,4 процентов при скорости соответственно 2, 4, 6 и 8 м/с. По-видимому, что такое увеличение аэродинамического сопротивления тракта приведет к заметному снижению расхода воздуха.

Зависимость коэффициента чувствительности аэродинамического сопротивления радиатора от средней скорости воздуха

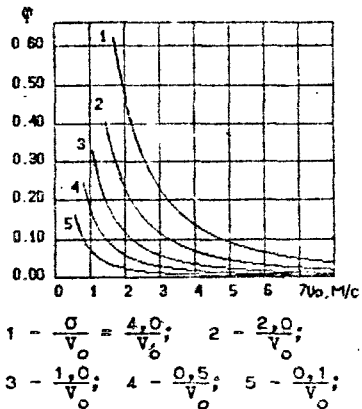


Рис. 2

Исследовательский комплекс и методика исследований. При исследовании движения воздушного потока по каналу воздушного тракта наиболее сложно провести измерение скорости воздуха, проходящего через сердцевину радиатора. Для этих целей обычно используются термоанемометры и приемники давления, но они по ряду причин мало пригодны для этих целей. Поэтому в качестве датчика скорости воздуха был выбран крыльчатый анемометр.

Датчик представляет из себя вертушку с двумя лопастями, установленную на оси в кольцеобразном корпусе. Вращение вертушки под действием потока воздуха преобразуется в электрические сигналы частота которых пропорциональна скорости воздуха. Такой тип датчика не чувствителен к плотности воздуха, имеет небольшие габариты, хорошо стыкуется с цифровыми регистрирующими приборами.

Как показал теоретический анализ линии тока в предрадиаторной камере значительно искривлены. Бывает так, что вектор скорости воздуха направлен почти вдоль поверхности радиатора. Попытки измерения скорости воздуха перед радиатором часто приводят к большим искажениям величины скорости. В таком случае скорость воздуха лучше измерять за радиатором, что и реализовано в предлагаемой методике. В случае, когда поток создается вентилятором, иногда можно измерять скорость перед радиатором, поскольку здесь характер движения воздуха несколько иной и погрешность измерений будет не столь значительной.

Для автоматизации измерения скорости воздушного потока в разных точках фронтальной поверхности радиатора был изготовлен координатный механизм перемещения. В процессе измерений несколько датчиков с помощью механизма перемещаются вдоль всей поверхности радиатора. Это позволяет измерить скорость воздуха по всей поверхности радиатора за один проход. Направляющее кольцо анемометра устанавливается вплотную к поверхности радиатора.

Для автоматизации проведения экспериментов и обеспечения регистрации большого объема измерительной информации был специально разработан бортовой измерительно вычислительный комплекс на базе микро-ЭВМ. Комплекс позволяет производить измерения большого количества параметров автоматически по заданной программе в условиях стационарных и дорожных испытаний. Далее информация может быть оттранслирована на ПЭВМ для последующей обработки.

Предлагаемая методика исследований и датчики скорости воздуха - крыльчатые анемометры дают новые возможности для совер-

взаимодействия воздушного тракта системы охлаждения легкового автомобиля. Позволят более рационально построить технологии конструирования и доводки воздушного тракта в зависимости от стадии работы. На первой стадии проектирования теплоотдача радиатора может быть рассчитана с учетом неравномерности воздушного потока полученного на прототипе. На последующих этапах когда имеется физическая модель воздушного тракта или экспериментальный образец автомобиля производится отработка элементов воздушного тракта в условиях стендовых или дорожных испытаний. Предлагаемая методика позволяет выявить действие любого элемента на эффективность подачи охлаждающего воздуха. Эффективность оценивается как визуально по полученной эпюре скоростей, так и количественно по расходу воздуха и неравномерности воздушного потока. Окончательная оценка может быть дана после определения теплоотдачи радиатора по вышеизложенным методикам.

Таким путем можно производить отработку: конструкции предрадиаторной камеры; конструкции и местоположения воздухозаборных отверстий; конструкции спойлера и подводящих каналов; конструкции направляющего аппарата и т. д. Методика позволяет наиболее рационально выбрать соотношение использования набегающего потока и вентиляторной установки, обеспечивающее движение на всех режимах с минимальными затратами мощности для подачи охлаждающего воздуха. Подобрать вентилятор и конструкцию кожуха вентилятора.

Методика позволяет сократить сроки доводки воздушного тракта системы охлаждения двигателя легкового автомобиля как минимум в 5 - 7 раз при более высоком их качестве.

Результаты экспериментальных исследований распределения воздушного потока по фронту радиатора. Целью экспериментальных исследований являлось проверка выводов сделанных в результате теоретического анализа и отработки самой методики экспериментальных исследований.

Для исследования распределения воздушного потока по фронтальной поверхности радиатора был использован воздушный тракт системы охлаждения двигателя автомобиля ВАЗ-2108. Воздушный тракт системы охлаждения автомобиля был использован как модель воздушного тракта с различными схемами забора охлаждающего воздуха. В результате внесения изменений в конструкцию тракта ВАЗ-2108 удалось получить три варианта схем конструкций входной части воздушного тракта.

Первая схема - это серийный вариант, когда есть две возду-

хозаборных отверстия, расположенных над бампером и под ним. Этот вариант отличается от серийного исполнения только тем, что на лицевой панели автомобиля и на перегородке, разделяющей предрадиаторную камеру и моторный отсек, загерметизированы все технологические щели. Это сделано для того, чтобы исключить перетекание воздуха, минуя воздухозаборные отверстия и сердцевину радиатора. Такая схема имеет наибольшее распространение.

Вторая схема входной части воздушного тракта получена путем герметизации нижнего воздухозаборного отверстия. Такая схема с одним воздухозаборным отверстием, расположенным над бампером и проецируемым на верхнюю часть радиатора, часто используется при конструировании.

В третьей схеме, наоборот, загерметизировано верхнее отверстие и воздух поступает через нижнее. Такая схема все чаще применяется на современных автомобилях.

Во всех случаях измерения проводились по вышеизложенной методике с помощью крыльчатых анемометров в 32 точках на поверхности радиатора. Замеры выполнялись при скорости движения 40, 60, 80, 100, 120 и 140 км/ч.

Первая схема. Учитывая, что вентиляторная установка демонтирована, можно сказать, что воздушный поток более или менее равномерно распределен по поверхности радиатора. На рис. 3 показано как изменяется средняя скорость воздуха и коэффициент неравномерности поля скоростей в зависимости от скорости движения автомобиля. Видно, что больше всего неравномерность наблюдается на малых скоростях движения.

Зависимость средней скорости воздуха и коэффициента неравномерности от скорости движения автомобиля

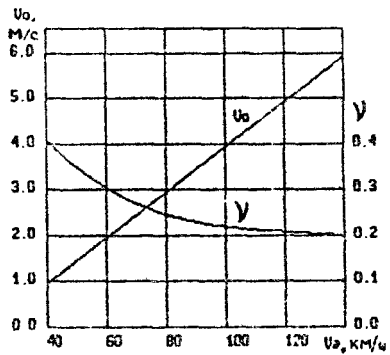


Рис. 3

В табл. 1 приведены результаты распределения скорости воздуха по фронтальной поверхности радиатора при скорости движения 100 и 120 км/ч. Расположение зон дано при взгляде на радиатор против хода движения автомобиля (0-й участок).

Распределение скорости воздуха по зонам радиатора

Таблица 1

Скор. автомоб. км/ч	Номер зоны							
	1	2	3	4	5	6	7	8
100	2,92	3,14	3,59	2,28	4,59	4,14	5,25	5,65
	4,06	4,19	4,00	4,63	4,59	4,32	4,37	4,25
	3,41	4,01	4,08	4,01	4,17	4,22	3,60	4,56
	2,04	2,75	2,38	3,76	2,53	3,20	4,05	3,34
120	3,78	3,59	4,28	5,30	5,80	5,23	6,14	7,03
	5,66	5,09	5,12	5,79	5,61	5,51	5,67	5,41
	4,51	4,95	5,00	4,97	5,19	5,18	4,53	5,97
	2,55	3,17	3,06	4,69	3,17	4,03	5,31	4,24

Анализируя эпюры скоростей, можно сказать, что скорость в левой части радиатора несколько ниже чем справа, это вызвано влиянием подкапотного пространства. Слева движению воздуха препятствует блок двигателя. Если рассмотреть распределение воздушного потока в вертикальной плоскости, то видно, что на нижние участки радиатора попадает меньшее количество воздуха, чем на верхние.

Вторая схема. Поскольку конструкция воздушного тракта системы охлаждения ВАЗ-2108 не предполагает использования только верхнего забора воздуха, поток воздуха очень плохо распределяется по поверхности радиатора в вертикальном направлении. Это хорошо видно на табл. 2.

Этот эксперимент показывает, как ведет себя поток в стесненных условиях предрадиаторной камеры. Подтверждаются выводы теоретического анализа, сделанные во второй главе. При неблагоприятных условиях струя на коротком отрезке пути не успевает перераспределиться по всей поверхности радиатора. В данном случае проекция верхнего воздухозаборного отверстия попадает в верхнюю часть радиатора.

Третья схема. Закономерность распределения воздушного потока в данном случае совсем другая. То есть получен еще один вариант компоновки тракта с характерными параметрами.

Распределение скорости воздуха по зонам радиатора

Таблица 2

Скор. автомоб. км/ч	Номер зоны							
	1	2	3	4	5	6	7	8
100	2,65	2,80	2,75	3,15	3,43	3,53	4,11	4,83
	2,91	3,53	3,23	4,49	4,28	4,43	4,02	4,28
	0,14	0,28	0,40	0,41	0,34	0,40	0,30	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
120	3,67	3,49	3,96	4,88	4,78	4,31	6,17	6,92
	4,70	5,32	4,54	6,43	5,41	5,21	5,60	5,69
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,34	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,62

В табл. 3 приведены данные по распределению скорости потока воздуха по фронтальной поверхности радиатора при заборе воздуха через нижнее отверстие.

Распределение скорости воздуха по зонам радиатора

Таблица 3

Скор. автомоб. км/ч	Номер зоны							
	1	2	3	4	5	6	7	8
100	0,64	0,96	1,75	2,32	2,43	2,29	3,02	2,41
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	2,67	2,55	2,56	2,03	2,35
	1,78	2,67	2,56	4,16	2,71	3,00	4,07	3,02
120	1,20	1,51	2,72	2,84	2,75	2,62	2,95	1,72
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	2,30	3,15	4,41	4,31	2,91	3,52
	2,47	3,46	3,19	5,03	3,97	4,56	5,12	3,98

Распределение потока воздуха в данном случае характеризуется тем, что через зоны, расположенные чуть выше середины радиатора

(второй ряд сверху), воздух не проходит. Зато в верхнюю часть радиатора попадает достаточно большое количество воздуха, хотя эта часть наиболее удалена от впускного отверстия. Вновь, подтверждены выводы теоретического анализа, сделанные во второй главе. В данном случае поток воздуха в предрадиаторной камере движется так, как в Z-образном колёне. Сопротивление участка пути до более дальней зоны радиатора (первый ряд) от оси отверстия будет меньше, чем до ближних зон (второй ряд).

Для проверки эффективности использования направляющих элементов в канале предрадиаторной камеры для выравнивания поля скоростей воздушного потока по фронту радиатора, проведен специальный эксперимент. Для этого была выбрана третья схема с закрытым верхним отверстием, где наиболее сложны условия распределения воздушного потока. В канале нижнего воздухозаборного отверстия была установлена профилированная пластина, разделяющая отверстие вдоль на две части. Так как пластина установлена под углом к поверхности радиатора, она отскакивает верхнюю часть струи и направляет ее выше по радиатору. В результате этого удалось перераспределить поток по поверхности радиатора более рационально (см. табл. 4).

Распределение скорости воздуха по зонам радиатора

Таблица 4

Скор. автомоб. км/ч	Номер зоны							
	1	2	3	4	5	6	7	8
100	0,93	1,44	2,55	3,18	3,32	2,92	3,26	2,38
	0,00	0,00	1,51	2,80	2,48	1,93	1,53	0,67
	0,00	0,00	1,36	2,46	2,45	2,74	2,51	3,01
	1,54	2,20	2,17	2,14	2,11	2,56	1,93	2,75
120	1,25	1,70	3,07	4,27	4,21	4,43	5,01	3,90
	0,00	0,00	0,05	3,67	3,30	3,23	1,95	0,32
	0,00	0,00	2,89	3,30	3,30	3,79	2,97	3,89
	2,18	2,40	2,91	3,62	2,82	3,95	2,69	3,37

Благодаря лучшему распределению коэффициент неравномерности потока уменьшился на 35, 22, 39, 40, 29 процентов (при скорости

движения соответственно 40, 60, 80, 100 и 120 км/ч). А поскольку улучшилась организация потока в предрадиаторной камере, уменьшилось местное сопротивление канала; увеличилась равномерность поля, следовательно уменьшилось суммарное сопротивление радиатора. Об этом свидетельствует увеличившийся расход воздуха на 52, 29, 23, 16 и 16 процентов. Нужно отметить, что на малых скоростях расход увеличивается в большей степени. Это очень важно, поскольку именно на этих скоростях наблюдается более высокая неравномерность поля. Обычно на этих скоростях необходимо более интенсивное охлаждение, поскольку здесь возможна высокая теплонагруженность двигателя (движение на подъем, движение с прицепом, движение в тяжелых дорожных условиях).

Полученные результаты показывают, что с помощью направляющих элементов можно эффективно регулировать распределение потока воздуха по поверхности радиатора и значительно улучшить аэродинамические характеристики тракта, что способствует повышению эффективности системы охлаждения.

Проведена серия экспериментов по изучению распределения воздушного потока, созданного вентилятором. Методика измерений отличалась лишь тем, что механизм перемещения с анемометрами устанавливался перед радиатором. Как и следовало ожидать, распределение потока воздуха созданного, работой вентилятора, в значительной степени отличается от распределения потока, возникающего под действием набегавшего воздуха. Расположение воздухозаборных отверстий в меньшей степени влияет на распределение потока по фронту радиатора.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В результате теоретических и экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Исследованием физической картины распространения потока воздуха в предрадиаторной камере установлено, что в условиях тесного пространства предрадиаторной камеры современного легкового автомобиля может создаваться значительная неравномерность воздушного потока по фронтальной поверхности радиатора. При этом конструкция входной части воздушного тракта легкового автомобиля играет большое значение. Малые размеры предрадиаторной камеры и воздухозаборных отверстий, их расположение относительно радиатора затрудняют равномерное распределение воздуха и вынуждают рассматривать структуру воздушного потока, как струй-

ное течение.

2. Предлагаемая методика расчета теплоотдачи радиатора позволяет определить эффективность радиатора с учетом неравномерного распределения скорости воздуха по поверхности радиатора по заданному полю скоростей воздушного потока. Это дает возможность определить реальную теплоотдачу радиатора, установленного на автомобиль.

3. Снижение теплоотдачи радиатора, вследствие неравномерного распределения скорости воздушного потока по фронту радиатора, зависит от коэффициента неравномерности поля скоростей и от характеристики самого радиатора. Для определения степени снижения теплоотдачи радиатора из-за неравномерно распределенной скорости воздуха по поверхности радиатора разработана методика, позволяющая оценивать чувствительность теплоотдачи радиатора к неравномерности воздушного потока. Расчеты показывают, что наибольшее влияние неравномерность поля скоростей на теплоотдачу радиатора оказывает при малой скорости воздуха. Так например, при коэффициенте неравномерности поля скоростей 0,5 и средней скорости воздуха 2 м/с теплоотдача радиатора уменьшается на 4,4%.

4. Неравномерное распределение скорости воздуха по фронтальной поверхности радиатора приводит к увеличению общего аэродинамического сопротивления радиатора по сравнению с вариантом равномерного распределения потока воздуха при том же расходе. С ростом неравномерности поля скоростей увеличивается аэродинамическое сопротивление радиатора и как следствие снижается расход воздуха. Расчет, с помощью полученной зависимости, показывает, что более всего общее аэродинамическое сопротивление радиатора изменяется при малой скорости воздуха через радиатор. Например, при коэффициенте неравномерности поля скоростей 0,5 и средней скорости воздуха 2 м/с сопротивление радиатора увеличивается на 5,9%.

5. Разработанная аппаратура и реализованная методика экспериментальных исследований воздушного тракта, позволяет измерять реальную скорость воздуха, проходящего через сердцевину радиатора, прямым путем оценить эффективность подвода охлаждающего воздуха к радиатору системы охлаждения. Эта методика использована на Волжском автомобильном заводе в отделе доводки двигателей.

6. Предложенная методика доводки воздушного тракта системы охлаждения двигателя легкового автомобиля, включающая в себя методику экспериментальных исследований воздушного тракта и рас-

четный механизм, позволяет сократить сроки доводки системы охлаждения двигателя легкового автомобиля в 5-7 раз.

7. Применение направляющего аппарата в предрадиаторной камере показало хорошие результаты по повышению аэродинамических характеристик тракта и оптимальному распределению потока воздуха по поверхности радиатора. При скорости 40 км/ч расход охлаждающего воздуха вырос на 51,9%, при 60 км/ч на 28,6%, при 80 км/ч на 23,2%, при 100 км/ч на 16,3% и при 120 км/ч на 15,9%. Неравномерность воздушного потока уменьшилась на 35, 22, 39, 40 и 29 процентов соответственно при скорости движения 40, 60, 80, 100 и 120 км/ч. Наибольший эффект направляющего элемента наблюдается на малых скоростях движения, что особенно важно.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Хоменко С.Е., Петров А.П., Коваль В.В. Измерительный комплекс для оценки поля скоростей охлаждающего воздуха системы охлаждения автомобильного двигателя // Проблемы проектирования конструкций: Сб. кратких сообщений II Уральского семинара. Миасс, 1989. - С. 16-21.

2. Хоменко С.Е., Петров А.П., Коваль В.В. Результаты исследования системы охлаждения автобуса // Проблемы проектирования конструкций: Сб. кратких сообщений IV Уральского семинара. Миасс, 1991. - С. 203-209.

3. Петров А.П., Хоменко С.Е. Определение влияния неравномерности воздушного потока на теплоотдачу радиатора. Тез. докл. Российской школы по проблемам проектирования неоднородных конструкций. - Миасс, 1991. - С. 6-7.

4. Хоменко С.Е., Петров А.П. Измерительный комплекс для оценки аэродинамического баланса системы охлаждения автомобильного двигателя. Тез. докл. науч.-практ. конфер. "Разработка и применение новой техники, технологии и автоматизированных систем в промышленности. - Курган, 1983. - С. 35-36.



ПЕТРОВ Александр Павлович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ТРАКТА
СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
ДВИГАТЕЛЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

05.05.03 - автомобили и тракторы

05.04.02 - тепловые двигатели

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Подписано в печать 11.11.85	Формат 60*84/16	Бумага тип. М1
Плоская печать	Усл. печ. л. 1,2	Уч-изд. л. 1,2
Заказ 693	Тираж 100	Бесплатно

Издательство Курганского машиностроительного института,
640669, г. Курган, пл. им. В.И. Ленина.

Курганский машиностроительный институт, корпус Б, ротاپринт,
г. Курган, ул. Пролетарская, 62.