

Государственный комитет Российской Федерации
по высшему образованию

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П.Королева

И.А.Кшнякин, Н.Е.Конжков

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
(СПОСОБЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ)

Учебное пособие

Самара 1995

УДК 621.436-41/-44-503.57:681.325.5-181.4

Измерение мощности двигателей внутреннего сгорания (способы диагностирования): Учеб. пособие / Н.А. Кшнякин, Н.Е.Конюхов. Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1995. 57 с.

ISBN 5-230-16978-8

Приведены сведения о способах диагностирования, микропроцессорных системах управления и контроля, а также стенды и устройства для лабораторных исследований параметров элементов и узлов автомобилей.

Предназначено для студентов радиотехнического факультета, специализирующихся по автомобильной электротехнике. Подготовлено на кафедре "Электротехника".

Ил. 19. Табл. 1. Библиогр.: 21 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева

Рецензенты: В.А.Глазунов, С.В.Лукачев,
В.В.Панин

© Кшнякин А.Н.,
Конюхов Н.Е.

ISBN 5-230-16978-8

© Самарский государственный
аэрокосмический
университет, 1995

В в е д е н и е

Электронизация автомобилей принесла с собой новые проблемы. В частности, проблему обеспечения надежности работы изделий электро — ники в более жестких условиях, чем у работающих в авиации и даже космонавтике. Диагностика позволяет получить информацию о надежности и обоснованные данные для проведения необходимых мероприятий по повышению технического уровня. Для этого разработана государственная целевая "Программа создания, производства и освоения контрольно-диагностического оборудования для автомобильных электронных систем управления и приборов, развития сети технического обслуживания автомобильных электронных систем и приборов".

Бесконтактные и микропроцессорные системы зажигания с различными видами контроллеров, а также объекты с микропроцессорными системами управления конструктивно выполняются в виде функционально законченных блоков, доступность к внутренним цепям и контактам которых при диагностировании и в процессе эксплуатации исключена. Система управления автомобиля — это гибридная, т.е. аналого-дискретная электронная система, в которой все измерения, вычисления и управление выполняются дискретными схемами, а сигналы датчиков и управления аналоговые. Поэтому диагностирование такого блока сопряжено со значительными трудностями.

Описания современных микропроцессорных систем диагностики, приводимые в рекламных материалах, как правило, адресованы специалистам или потребителям и поэтому не могут быть использованы в учебном процессе, целью которого является, в частности, изучение алгоритмов преобразования диагностической информации. Диагностическое оборудование для улучшения потребительских свойств систематически обновляется, однако повышение его технических характеристик, как правило, достигается путем повышения точности функциональных преобразователей, реализующих ранее разработанные и апробированные алгоритмы контроля параметров автомобилей, которые с достаточной полнотой описаны в доступной литературе [1-2]. Изучение способов преобразования диагностической информации позволит выпускнику относительно просто освоить стенды, принципы работы которых ему известны.

1. СПОСОБЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

1.1. Виброакустическая диагностика двигателей

Известно, что около половины всех отказов автомобилей приходится на двигатель. Научные основы диагностики двигателя разрабатываются с привлечением термодинамики и теплопередачи, динамики двигателя, теории вероятностей и математической статистики, виброакустики, теории рабочего процесса, электроники и др. В данном методическом пособии рассматриваются теоретические сведения, необходимые студентам для углубленного понимания способов и средств диагностирования, современные микропроцессорные системы управления и диагностики автомобиля и технические характеристики стендов.

Для целей диагностики наиболее содержательными источниками информации о состоянии двигателя являются: виброакустические поля, время разгона и выбега, содержание в смазочном масле посторонних частиц. Особенность виброакустических источников информации заключается в возможности получения большого объема информации при незначительных затратах на установку диагностической аппаратуры, что упрощает задачу автоматизации процедуры диагностирования. Бесконтактные методы диагностики двигателей внутреннего сгорания, основанные на измерении и соответствующей обработке параметров сигналов нетрадиционных источников информации, — уровня шума, пульсаций давления в картере двигателя, отработанных газов, пульсаций давления всасывания позволяют с минимальным участием оператора диагностировать двигатель. В работе [1] описано устройство, датчик которого помещают в выхлопную трубу, и за 1 мин испытаний определяют потери давления, утечку топлива при впрыске и другие параметры двигателя.

Для знакомства с методами виброакустических исследований двигателей представляет интерес работа [2], где приведены научные основы диагностирования двигателей и содержатся результаты практической реализации средств диагностирования.

Импульс силы при соударении деталей кинематической пары является функцией зазора [2]. Каждая сопряженная пара деталей механизма формирует вибрации при соударении, спектр которых зависит от максимальных ускорений, масс, зазоров и т.д. Зная частоту переключки деталей механизмов, можно установить моменты образования импульсов, энергия которых пропорциональна ударному импульсу и зазору.

Вибрации двигателя внутреннего сгорания можно рассматривать как случайный процесс, характеризуемый плотностью распределения, ма-

тематическим ожиданием, корреляционной функцией, спектральной плотностью и другими показателями. Математическим ожиданием случайной величины называется сумма произведений возможных значений случайной величины X_i (в данном случае интенсивности вибраций в диагностической зоне механизма) на вероятности P_i этих значений $M(X) = \sum_{i=1}^n X_i \cdot P_i$.

1.2. Диагностика двигателя по среднему уровню вибраций

Одним из наиболее доступных для виброакустических исследований является общий уровень вибрации, регистрируемый в зонах контроля.

Как известно, погрешность оценки математического ожидания зависит от числа измерений и уменьшается с увеличением выборки. В работе [2] приведена оценка математического ожидания интенсивности M_i вибраций 40 цилиндров двигателей: для отремонтированных двигателей с зазорами в сопряжениях поршень-гильза $s = 0,18 \dots 0,22$ мм M_i составляет $5g$, а для предельно изношенных ($s = 0,6 \dots 0,64$ мм) $M_i = 20g$. Таким образом, зная среднее статистическое значение вибраций элементов двигателя, можно оценить состояние цилиндров диагностируемого автомобиля.

1.3. Диагностика по спектру вибраций

Алгоритм диагностики состояния работающего двигателя по виброакустическим параметрам его элементов определяется способом представления сигнала. Для разработки измерительной аппаратуры параметров двигателя могут быть использованы частотные способы представления параметров случайного процесса соударений деталей автомобиля, основанные на выделении гармонических составляющих спектра:

$$X(t) = C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cdot \cos(k\omega_0 t + \varphi_k),$$

где C_k, k, ω_0 - параметры сигнала, функционально связанные с параметрами двигателя.

На основании анализа спектрограмм в работе [2] приведены результаты измерений вибраций элементов двигателя. Вибрации цилиндропоршневой группы в диапазоне частот $2 \dots 4$ кГц составляют 122 дБ, общий уровень - 128 дБ. Вибрации от топливоподающей системы в этой области частот составляют 108 дБ (работающей и выключенной). Но в диапазоне

частот 10...20 кГц интенсивность вибраций существенно изменяется. Интенсивность вибрации от зазора в клапанном механизме проявляется в диапазоне частот 7...14 кГц, а колебания гильзы имеют наибольшую интенсивность на частоте 2,83 кГц. Таким образом, способы измерения параметров сигналов, основанные на частотной фильтрации, также позволяют диагностировать состояние элементов двигателя.

1.4. Выделение виброакустического сигнала по времени

Соударения деталей в кинематических парах при работе или прокручивании ДВС происходят в определенные моменты времени. Так, начало импульса от переключки поршня в зазоре около верхней мертвой точки (ВМТ) и удара о гильзу происходит у нового двигателя через $\varphi = 0...2^\circ$ поворота коленчатого вала относительно ВМТ ($n = 1000$ об/мин, $\tau_i = 0,0004$ с), у предельно изношенной цилиндрико-поршневой группы — через $\varphi = 13...16^\circ$ ($n = 1000$ об/мин, $\tau_i = 0,0025$ с).

Продолжительность импульса, вызванного ударом поршня о гильзу цилиндра, составляет $28...32^\circ$ поворота коленчатого вала или $\tau = 0,005$ с при $n = 1000$ об/мин. Зная момент образования и продолжительность вибрационного импульса проверяемой пары, можно выделить его по времени и измерить параметры.

1.5. Корреляционный метод выделения диагностической информации

Корреляционная функция характеризует связи между значениями случайного процесса в моменты времени t и $t+\tau$.

Имеем

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T X(t)X(t+\tau) dt.$$

В литературе [2] приведены данные экспериментального измерения параметров корреляционной функции и получено

$$R(\tau) = \exp[-d^2\tau^2]$$

при $n = 1350$ об/мин $d = 46$. В предельно изношенном цилиндре $R(\tau) = \exp[-d^2\tau^2] \cos(\omega t)$, для бестормозного режима работы при $n = 1850$ об/мин $d = 18$, $\omega = 78$ рад/с.

На основании полученных результатов показано, что по виду и параметрам $R(\tau)$ можно определить меру связи между структурными и диагностическими параметрами.

1.6. Способ оценки механических потерь в двигателях внутреннего сгорания

Известные способы оценки механических потерь в ДВС (два основных) не гарантируют высокой точности результатов измерения. При измерении мощности прокручивания коленчатого вала вспомогательным двигателем исключены нагрузки цилиндрико-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма газовыми силами, действующими в работающем ДВС, а при выключении одного из цилиндров изменяются газодинамические процессы в работающих цилиндрах.

По предлагаемому способу [3] двигатель нагружают тормозным устройством, а его коленчатый вал "прокручивают" сжатым воздухом. Температура и давление выбираются в соответствии с рабочими параметрами двигателя. Измерение этих параметров в цилиндрах двигателя позволяет определить индикаторную мощность, сравнивая которую с эффективной, подводимой к коленчатому валу от внешнего источника энергии, можно определить и механические потери.

Эффективный крутящий момент измеряется на тормозном стенде по величине реактивного момента, а среднее индикаторное давление вычисляется на основе записанной диаграммы давления.

Отношение эффективных и индикаторных мощностей или крутящих моментов определяет механический КПД двигателя, его можно рассчитать также по отношению эффективного крутящего момента и среднего индикаторного давления, умноженного на постоянный для данного двигателя коэффициент (коэффициент можно вычислить для любого режима работы двигателя). Дополнительным преимуществом метода является отсутствие газа в помещении.

2. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

2.1. Режимы двигателя при диагностировании

1. Режимы функционального диагностирования осуществляются на работающем двигателе в эксплуатационных условиях, на тормозном стенде с беговыми барабанами при тяговых испытаниях. Наибольшую диагностическую информацию дают стендовые испытания.

2. Режим тестового диагностирования осуществляется различными способами организации тестовых воздействий на неработающем двигателе, например, путем прокручивания двигателя, периодическими пневма-

тическими воздействиями, для измерения перемещений деталей кривошипно-шатунного механизма в стационарном состоянии и подачи в цилиндры воздуха постоянного давления при подвижных деталях. Основные преимущества прокручивания заключаются в том, что при невысокой частоте вращения можно подобрать условия для диагностирования основных механизмов с минимальными помехами. В этом режиме виброакустическое диагностирование позволяет индивидуализировать условия проверки. Так, при проверке сопряжения "поршень-гильза" в цилиндре для получения достаточного ударного импульса нормируется давление конца сжатия, а остальные цилиндры декомпрессируются, что обеспечивает высокую точность прогноза.

3. Применяется смешанный режим диагностирования, при котором часть цилиндров выключается, а работающие цилиндры догружаются тормозом небольшой мощности до номинальной нагрузки, что позволяет дифференцированно определить их состояние.

2.2. Способы диагностики цилиндра-поршневой группы

Способы безразборного определения технического состояния цилиндра-поршневой группы основаны на измерении расхода картерного масла и газов, расхода воздуха, подаваемого в цилиндр под давлением на неработающем двигателе, давления в конце сжатия при прокручивании двигателя и др. Эти трудоемкие методы не точны и не позволяют диагностировать состояние отдельных цилиндров. Автоматизированные методы диагностики могут быть реализованы путем измерения максимальной скорости изменения давления в работающем двигателе. Скорость нарастания давления для карбюраторных двигателей составляет $0,07 \dots 0,2$ МПа на градус, а для дизелей — $0,2 \dots 0,6$ МПа на градус поворота коленчатого вала и более, и зависит от регулировочных и эксплуатационных факторов. Так, увеличение угла опережения впрыска приводит к увеличению жесткости работы двигателя в 2-3 раза, а износ деталей цилиндра-поршневой группы и подшипниковых узлов возрастает в 1,5 раза. Скорость изменения давления максимальна при $\psi = 30^\circ$ до верхней мертвой точки как для нового, так и нуждающегося в ремонте двигателя. В этом положении зазор в сопряжении "поршень-гильза" максимален. В результате проведенных измерений оказалось, что в пределах скоростных режимов прокручивания (200...400 об/мин) отношение давлений в конце сжатия нового и изношенного двигателей составляет $1,2 \dots 1,3$, а отношение скоростей — $1,6 \dots 1,7$, что подтверждает большую диагностическую информативность этого способа [2].

2.3. Диагностика системы топливоподачи и рабочего процесса двигателя

Предельные отклонения регулировок топливной аппаратуры определяются на основе статистических методов анализа результатов измерений. Методы регрессионного и корреляционного анализа позволяют определить уравнения, характеризующие связь регулировочных параметров с определяющими факторами, а также с помощью коэффициентов регрессии и корреляции установить степень их взаимозависимости. Так, зависимость мощности от регулировочных параметров топливной аппаратуры выражается уравнением регрессии [2]

$$N_e = 3,836 + 0,156 \varphi_n + 110,8 \Delta q_{ц} - 0,004 p_{впр},$$

где φ_n - угол опережения начала подачи топлива; $\Delta q_{ц}$ - цикловая подача топлива; $p_{впр}$ - давление начала подъема иглы форсунки (зависит от затяжки пружины).

Статистический анализ уравнения показал, что оно значимо. Расчетное значение F - критерия независимости признака от совокупности других признаков равно 18,7, а табличное значение $F_{\lambda; m; n}$ для заданной вероятности ошибки $\lambda = 0,01$, объема выборки $N_0 = 100$ и числа признаков $K = 4$ составляет 3,82. Так как $F_{расч} > F_{\lambda; m; n}$, то гипотеза о независимости результативного признака N_e от перечисленных факторов отвергается. Это значит, что N_e значимым образом зависит от φ_n , $\Delta q_{ц}$, $p_{впр}$. Коэффициент множественной корреляции ($R = 0,61$) значим. Коэффициент регрессии b_i позволяет установить, существенно ли зависит N_e от i -го фактора при исключении воздействия остальных факторов.

Для $\lambda = 0,01$ и $N_0 = 100$ табличное значение t - критерия Стьюдента равно 2,63. Так как $|t_{\varphi}| = 3,26 > 2,63$; $|t_{\Delta q}| = 6,2 > 2,63$, а $|t_p| = 0,62 < 2,63$, то коэффициенты b_{φ} и $b_{\Delta q}$ оказались существенными, а b_p - несущественными. Анализ коэффициентов эластичности показывает, что наибольшее влияние на N_e оказывает $\Delta q_{ц}$. Снижение $\Delta q_{ц}$ на 1% уменьшает N_e на 0,504%, а соответствующее уменьшение угла опережения φ_n на 0,208%. Следовательно, с помощью уравнения регрессии можно оценить зависимости между измеряемыми параметрами и определяющими их факторами, что позволяет обоснованно выбрать алгоритм диагностики.

2.4. Бестормозные методы проверки двигателя в установившихся режимах

Зависимость частоты вращения коленчатого вала от среднего индикаторного давления выключенного цилиндра $p = f(n)$ можно принять линейной (при уменьшении n). При фиксированном положении дроссельной заслонки, исходя из равенства индикаторной мощности и мощности механических потерь, для различных режимов работы имеем:

на всех z цилиндрах $z p = z(a + b n)$;

на $z-1$ цилиндрах $z p' = z(a + b n')$.

Вычитанием из этих уравнений получена зависимость изменения частоты вращения Δn и среднего индикаторного давления выключенного цилиндра. Чем выше мощность выключенного цилиндра, тем больше Δn (если $\Delta n = 0$, цилиндр не работает).

Полученное соотношение характеризует качественную связь p и Δn . Практически вследствие увеличения наполнения $p' > p$ понижение частоты получается меньше расчетного. К тому же такой режим менее чувствителен к изменению регулируемых параметров по сравнению с нагрузочным режимом. Увеличение числа выключенных цилиндров и повышение нагрузки работающих позволяет повысить точность измерения показателей рабочего цикла.

2.5. Бестормозные методы проверки двигателя в неустановившихся режимах

Индикаторный крутящий момент двигателя в динамических режимах определяется выражением

$$M_i = M_m + J d\omega/dt,$$

а мощность

$$N_e = (M_i - M_m)\omega/1000 = 0,001 \cdot J \cdot \omega \cdot d\omega/dt,$$

где M_i — индикаторный крутящий момент двигателя, Н·м; M_m — момент механических потерь двигателя, Н·м; J — приведенный момент инерции двигателя, Н·м/с²; $d\omega/dt$ — угловое ускорение коленчатого вала, рад/с².

В условиях разгона двигатель загружается до полной цикловой подачи топлива и его индикаторная работа затрачивается на преодоле-

ние инерционных сопротивлений и механических потерь. Но при разгоне без внешней нагрузки на всех цилиндрах от холостого хода ускорения достигают значений 150...200 рад/с², что приводит к значительной деформации рабочего цикла и отклонению его показателей. Нарушения регулировок обуславливают разный характер влияния на величину ускорения.

Погрешность измерения уменьшается при уменьшении числа работающих цилиндров (путем их отключения).

Для бестормозного неустановившегося режима работы в книге [2] приведены уравнения для разгона и выбега двигателя в зависимости от числа выключенных цилиндров и результаты их экспериментальной проверки. Так, при разгоне от 900 до 1600 об/мин на всех цилиндрах теоретическое время разгона составляет 0,34 с, а экспериментальное — 0,4 с, при разгоне на минимальном числе цилиндров время разгона соответственно равно 2,4 и 2,5 с (расхождение 4%). При измерении продолжительности выбега расхождение теоретических и экспериментальных результатов составляет 2% для данного двигателя.

2.6. Механические потери двигателя в режимах перераспределенных цилиндрических нагрузок

Сравнительные исследования мощности механических потерь при начальном ($s = 0,2$ мм) и предельном ($s = 0,64$ мм) зазорах в сопряжении "поршень-гильза" показали, что с изменением зазора коэффициент вариации механических потерь составляет 0,193 — 4,5%.

С увеличением наработки зазоры увеличиваются и посадки становятся более свободными. Но с увеличением зазоров в подшипниках и в сочленении "поршень-гильза" при переключках поршней возникают ударные нагрузки, способствующие выдавливанию масляной пленки и повышению механических потерь. Кроме того, возрастает прорыв газов и картер, что вызывает форсированное обуглероживание масляной пленки, уменьшается упругость поршневых колец, а следовательно, возрастают давление на стенки цилиндров и в поршневых канавках. Противоположно действующие факторы приводят к тому, что с изнашиванием сопряжений общие механические потери изменяются незначительно.

По показателям механических потерь можно контролировать обкатку нового или отремонтированного двигателя и выявить неисправные элементы и узлы — зазоры, выкрашивание подшипников и т.д.

В эксплуатационных условиях механические потери наиболее просто выявляются путем измерения углового ускорения (замедления) или про-

должительности выбега. В результате обработки испытаний партии двигателей (методом наименьших квадратов) получено, что продолжительность выбега t_a обкатанных двигателей (без подачи топлива) составляет 1,08 с, а необкатанных – 0,82 с в диапазоне частот вращения вала от 1700 до 1100, коэффициент вариации для этой группы равен 2,4%.

3. СТЕНДЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ

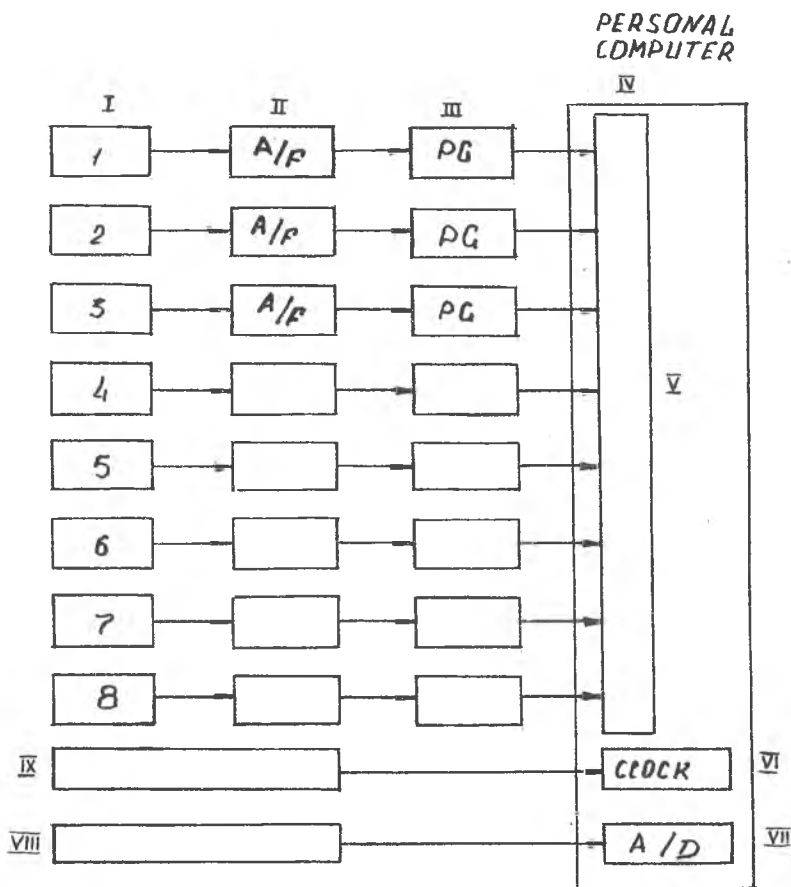
3.1. Использование ионизационных датчиков для изучения процессов горения в двигателях внутреннего сгорания

Для исследования процессов горения топлива используются волоконно-оптические датчики, устанавливаемые в свече зажигания, дающие информацию об интенсивности и развитии ядра пламени. Оптические волокна не вносят искажений в процесс горения смеси, однако датчики сложны в установке и эксплуатации, а усредненная информация, получаемая вдоль луча зрения, не позволяет судить о развитии фронта пламени.

Ионизационные преобразователи регистрируют фронт пламени в дискретных точках места их установки, но не дают информацию, характеризующую объемные показатели процесса сгорания топлива.

Доступность мощных персональных компьютеров позволяет повысить объем измерительной информации, получаемой при испытании двигателя путем обработки результатов измерений датчиков, не дающих визуальную картину горения, и наблюдать смоделированный процесс сгорания на экране дисплея. Совместное использование датчиков давления и ионизационных датчиков позволяет исследовать развитие процесса сгорания и соответствующей обработкой получить необходимую для моделирования информацию, приближая ее к возможностям волоконно-оптических датчиков [4].

Схема стенда для исследования процессов горения топлива приведена на рис. 3.1, где обозначено: I – ионизационные преобразователи; II – усилители и фильтры; III – компараторы (генераторы импульсов); IV – ЭВМ; У – интерфейс цифрового входа; VI – генератор частоты; VII – аналого-цифровой преобразователь; VIII – измерительный преобразователь давления; IX – сигнал зажигания.



Р и с. 3.1. Структурная схема стенда для исследования процессов сгорания топлива

Для уменьшения влияния помех от системы зажигания в каждом канале ионизационных датчиков используются фильтры, напряжение на датчики (300 В) подается от батареи и порог срабатывания компараторов (генераторов импульсов) устанавливается выше уровня помех.

Для проведения эксперимента с целью исследования сгорания бедных смесей в блок головки цилиндра зацелано 8 круглых и плоских датчиков (диаметр круглых - 0,35 мм, размеры плоских 0,1·10 мм). Нормализованные сигналы датчиков поступают на цифровой интерфейс ЭВМ, которая преобразует в цифровой код давление в цилиндре с периодом $0,5^{\circ}$

положения коленчатого вала. Начало процесса измерения синхронизируется импульсом зажигания. На дисплее с периодом в 1 с отображается обработанная информация, что позволяет визуально наблюдать характеристики горения почти в реальном времени и выявлять влияние регулируемых параметров.

Результаты испытаний приводятся в виде усредненных по серии реализации фронтов пламени, перемещающихся от свечи к гильзе цилиндра для нормального и турбулентного характера горения.

Выявлено, что для турбулентного течения процесса скорость горения (определяется либо по максимальному давлению в камере сгорания, либо по времени срабатывания ионизационных датчиков) не зависит от положения свечи, и обнаружено, что форма электродов влияет на характер сгорания (J-образная свеча создавала другие формы пламени).

Дальнейшее повышение информации об общих и локальных параметрах процесса сгорания топлива может быть получено при использовании оптических датчиков, установленных в свече, что дополнит информацию о начальных стадиях горения и позволит детальнее исследовать процессы в камере сгорания двигателя. Оптические и ионизационные датчики можно монтировать и в прокладке головки цилиндра, что позволит снизить затраты на проведение экспериментов.

3.2. Исследование способов измерения динамической верхней мертвой точки

Минимальный объем пространства, соответствующий верхней мертвой точке, — основной параметр двигателя, по которому определяется, в частности, индикаторное среднее эффективное давление. Если погрешность измерения углового положения коленчатого вала равна 1° (приведенная погрешность меньше 0,3%), то погрешность определения индикаторного давления в этом случае составляет 7...8% в дизельном двигателе и 4% в карбюраторном [5].

Для исследования двигателей важно точно измерять в реальном времени угол поворота коленчатого вала. Угловое положение можно определить статически (например, по положению отметок на маховике) и динамически. Однако положение коленчатого вала в динамике отличается от статически определенной верхней мертвой точки. Люфты и зазоры в главном подшипнике, шейке коленвала, поршневом пальце и крутильные колебания вала обуславливают погрешность измерения положения коленчатого вала, а следовательно, и индикаторного давления.

В двигателях внутреннего сгорания для уменьшения трения и стука

поршня поршневой палец устанавливается смещенно по отношению к оси цилиндра. Необходимы анализ и измерения для объективной оценки эффективности этого способа.

Для определения углового положения коленчатого вала в динамике используют: измерительные преобразователи позиции поршня; датчики давления в двигателе, работающем в моторном режиме (с приводом от электродвигателя); микроволновые резонансные преобразователи и оптические датчики перемещения.

В первом случае используются индуктивные и емкостные измерительные преобразователи, устанавливаемые в головке цилиндра на расстоянии нескольких миллиметров от верхней мертвой точки и измеряющие наивысшее положение поршня при вращении от электродвигателя. Во втором способе регистрируется угловое положение коленчатого вала при пиковом давлении в моторном режиме и угол, соответствующий верхней мертвой точке, определяется с использованием информации об угле термодинамических потерь. Угол термодинамических потерь рассчитывается как разность между динамическим углом верхней мертвой точки и углом пикового давления в режиме работы от электродвигателя. В третьем методе камера сгорания рассматривается как объемный резонатор, резонансная частота которого зависит от положения поршня. В четвертом методе размер камеры сгорания определяется по изменению интенсивности отраженного света.

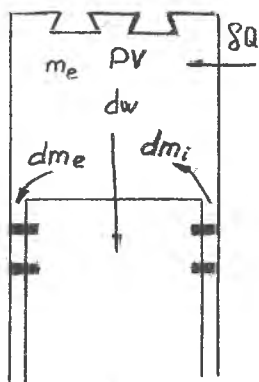
Угол термодинамических потерь при пиковом давлении в моторном режиме предшествует минимальному объему камеры сгорания вследствие тепловых потерь и просачивания газов через поршневые кольца. Для камеры сгорания по первому закону термодинамики можно получить уравнение

$$\frac{dp}{p} = -k \frac{dV}{V} + (k-1) \frac{\delta Q + dm_i h_i - dm_e h_e}{pV},$$

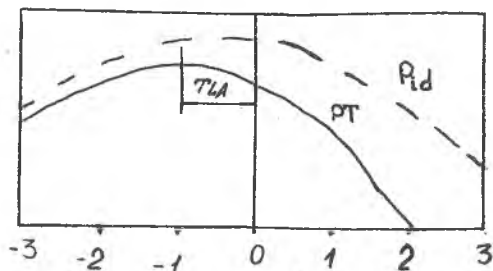
где p, V, Q, m, h, k — давление, контрольный объем, переданное тепло, масса, энтальпия и отношение удельных теплоемкостей газа в контрольном объеме.

Поскольку вблизи верхней мертвой точки (рис. 3.2) в цикле сжатия в моторном режиме $dm_i = 0$, а при максимальном давлении $dp = 0$, то полученная формула упрощается

$$dV = \frac{k-1}{k} \frac{\delta Q - dm_e h_e}{p}.$$



Р и с. 3.2. Камера сгорания

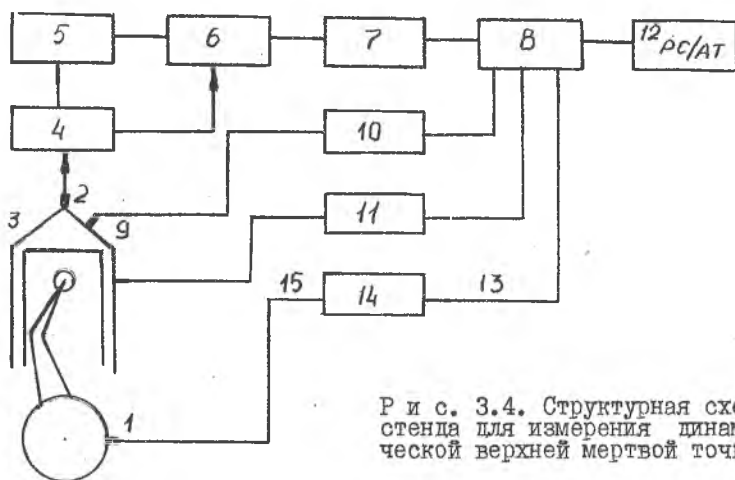


Р и с. 3.3. Угол термодинамических потерь

При движении к верхней мертвой точке в цикле сжатия при $\delta Q < 0$, $dm_e > 0$ и $k > 1$ уравнение действительно при $dV < 0$ и это свидетельствует о том, что пиковое давление в моторном режиме достигается при уменьшении объема, т.е. до верхней мертвой точки. Эту разность углов называют углом термодинамических потерь (рис. 3.3).

Для проведения исследований разработан стенд, структурная схема которого приведена на рис. 3.4, где обозначено: 1 – фотоприемник; 2 – измерительный преобразователь зазора; 3 – микроволновый зонд; 4 – направленный ответвитель; 5 – генератор; 6 – кварцевый детектор; 7 – операционный усилитель; 8 – интерфейс (шина); 9 – измерительный преобразователь давления; 10 – зарядный усилитель; 11 – возбуждатель; 12 – ЭВМ; 13 – импульсы (нулевой и через $0,25^\circ$); 14 – фазовый синхронизирующий контур; 15 – импульсы (нулевой и через 1°).

Измерение углового положения осуществляется с помощью кодирующего диска (прикрепленного к переднему концу коленчатого вала) с фотоприемником, компаратора фазы, фильтра низкой частоты, счетчика и генератора управляющего напряжения. Диск имеет кодирующие отверстия через 1° и отдельную прорезь для синхронизирующего сигнала. С целью увеличения точности каждый импульс фотопреобразователя с помощью фазового синхронизирующего контура делится на 4. Счетчик формирует прямоугольные импульсы через $0,25^\circ$ для регистрации положения коленчатого вала. Двенадцатирядный аналого-цифровой преобразователь с временем преобразования 15 мкс подключен к системе прямого доступа к памяти для уменьшения времени обработки. С целью повышения точности окончательный результат измерения получается в результате усреднения серии независимых данных.



Р и с. 3.4. Структурная схема
стенда для измерения динамической
верхней мертвой точки

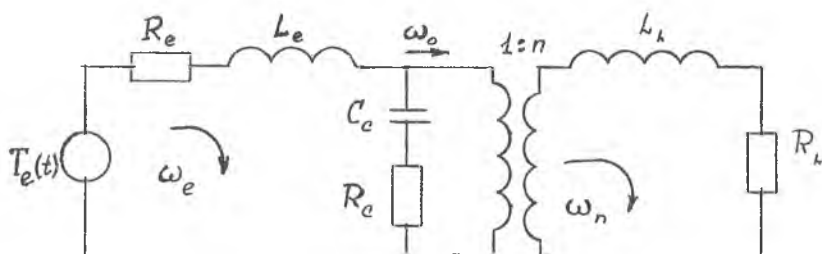
Кварцевый детектор 6 формирует сигнал, пропорциональный отраженной микроволновой энергии по сигналу зонда, установленного в свече зажигания (частота $8 < f < 12$ ГГц). Использовались вихретоковые измерительные преобразователи для измерения положения поршня и дополнительно в его юбке высверлено отверстие диаметром 4 мм – для фотодатчика удаления от верхней мертвой точки. В головке цилиндра и в свече установлены пьезоэлектрические измерительные преобразователи давления.

По результатам измерений динамического значения угла коленчатого вала показано, что микроволновый метод дает надежные данные с погрешностью менее $0,05^\circ$. Данные измерения положения поршня с помощью вихретокового преобразователя перемещений отличались от микроволнового на $0,1 \dots 0,2^\circ$. Величины углов термодинамических потерь составили $1,0 \dots 1,5^\circ$ по результатам измерений давления в камере сгорания и $0,4 \dots 1,3^\circ$ по свече (датчик в свече). Для уменьшения погрешности в многоцилиндровых двигателях следует проводить измерения в цилиндре, примыкающем к диску. Значения углов термодинамических потерь, дающие большие систематические ошибки в определении среднего эффективного индикаторного давления, устраняются поправками по результатам испытаний других двигателей.

3.3. Исследование влияния точности датчиков углового положения вала на момент вращения двигателя

Высокоточные преобразователи углового положения коленчатых валов используются в устройствах определения и задания оптимальных значений фаз зажигания или впрыска топлива в дизельных двигателях внутреннего сгорания; в системах определения крутящих моментов; в системах диагностики автомобилей.

Недостатком устройств электронного зажигания, управляемых стандартными, серийно выпускаемыми датчиками углового положения, является нестабильность амплитуды и временного положения импульсов, фиксирующих угловое положение коленчатого вала, что обусловлено помехами. Эта нестабильность приводит к соответствующим изменениям реальных фаз зажигания [6]. Для повышения точности в экспериментах использовались магниторезисторные преобразователи, формирующие импульсный код угла с точностью в $1,8^\circ$.



Р и с. 3.5. Эквивалентная схема замещения двигателя внутреннего сгорания

На основе таких датчиков и результатов физико-математического моделирования работы двигателей внутреннего сгорания разработаны метод и система для измерения крутящих моментов. При моделировании использовалась эквивалентная электрическая схема двигателей внутреннего сгорания, приведенная на рис. 3.5, где обозначено: R_e – потери двигателя внутреннего сгорания; R_L – потери в трансмиссии, связанные с ее рабочим нагружением; R_c – потери в тормозах (дисковых муфтах сцепления); L_e – момент инерции коленчатого вала двигателя с маховиком и дисковыми муфтами сцепления; L_L – момент инерции трансмиссии со стороны выхода (участка приложения нагрузки); C_e – торсионная податливость дисковых муфт сцепления; n – коэффициент пере-

дачи трансмиссии; $T_e(t)$ - приложенный к коленчатому валу крутящий момент, равный T_i и который создается давлением газов в цилиндрах двигателя за вычетом потерь на трение поршней в цилиндрах и на преодоление "сил всасывания", определяемых крутящим моментом T_{fp} , а также T_r на преодоление инерционных сил, создаваемых поршнями; $W_e(t)$ - угловая скорость вращения вала; $W_0(t)$, $W_n(t)$ - угловые скорости входных и выходных узлов трансмиссии.

При разработке модели моменты инерции валов (со всеми связанными с ними механическими узлами) представлены эквивалентными индуктивностями L , податливость механических узлов выражена емкостями C , а потери на трение отражены эквивалентными сопротивлениями R . Трансмиссия представлена эквивалентным трансформатором с коэффициентом передачи $1:n$. Предварительный анализ показал, что податливость коленчатого вала очень мала и ее можно не учитывать [6].

В соответствии с физико-математической моделью двигателя внутреннего сгорания связь между крутящим моментом T_i и давлением P_i в цилиндрах определяется формулой

$$T_i(\theta) = q(\theta)P_i(\theta), \quad (1)$$

где θ - угол поворота коленчатого вала; $q(\theta)$ - функция связи.

За цикл работы двигателя приложенный к коленчатому валу крутящий момент T_e описывается формулой

$$T_e(\theta) = T_i(\theta) + T_{fp}(\theta) + T_r(\theta), \quad 0 \leq \theta \leq 4\pi, \quad (2)$$

где крутящие моменты T_{fp} и T_r имеют отрицательные знаки.

Входящие в формулу (2) моменты вращения имеют постоянную и переменную составляющие: постоянная составляющая зависит от режима работы двигателя, а переменная периодически изменяется с частотой вращения вала. Постоянную составляющую крутящего момента $T_i(\theta)$ можно выразить как функцию переменной

$$T_i = f(\tau). \quad (3)$$

Целью моделирования двигателя внутреннего сгорания является определение зависимости между крутящим моментом $T_e(\theta)$ и угловым ускорением вала $\alpha(\theta)$. Зависимость между переменным крутящим моментом T_e и ускорением коленчатого вала с учетом эквивалентной схемы двигателя выражена в виде

$$H(j\lambda) = L - \frac{1}{\lambda^2 C} - j \frac{r_e + r_c}{\lambda} . \quad (4)$$

Выражение (4) хорошо согласуется с моделью двигателя и имеет очевидную физическую интерпретацию, использующую второй закон Ньютона. Во временной области крутящий момент T_e описывается формулой

$$T_e(\theta) = \alpha(\theta)^* h(\theta) , \quad \alpha(\theta) = \frac{d}{dt} \Omega(\theta) = \omega(\theta) ,$$

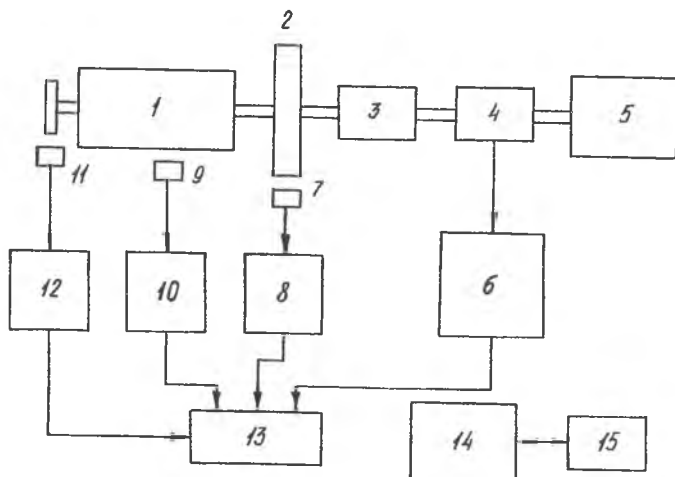
где $h(\theta)$ – переходная функция двигателя (символ * обозначает операцию свертки). В результате преобразований получена формула, описывающая модель двигателя внутреннего сгорания

$$T_i = f \left\{ \frac{\alpha(j\lambda)}{H(j\lambda)} - \tau_r(j\lambda) - \tau_{fp}(j\lambda) \right\} , \quad (5)$$

ее адекватность экспериментально проверялась на установке, схема которой приведена на рис. 3.6, где: 1 – испытываемый двигатель; 2 – маховик; 3 – трансмиссия; 4 – торсиометр; 5 – электромашинный тормоз – ной динамометр, управляемый контроллером и позволяющий регулировать нагрузку на двигатель; 6 – устройство обработки сигналов торсиометра; 7 – магниторезисторный преобразователь углового положения маховика 2 и коленчатого вала двигателя соответственно; 8 – процессор для вычисления угловых ускорений; 9 – пьезоэлектрический преобразователь давления; 10 – усилитель заряда; 11 – оптический преобразователь положения коленчатого вала; 12 – формирователь временных меток; 13 – аналого-цифровой преобразователь; 14 – линия прямого доступа к памяти; 15 – накопитель информации на диске.

С помощью рассмотренной установки проводились измерения $T_e(\theta)$ и $\alpha(\theta)$, переходная функция двигателя по схеме замещения изображенной на рис. 3.5, а также зависимость момента вращения от времени и адекватность формулы (3), связывающей постоянную и переменную составляющие крутящего момента $T_i(\theta)$. Измерения проводились при пяти различных нагрузках и скоростях вращения вала.

Оценивалась также формула (5), выражающая зависимость T_i от ускорений α . Установлено, что эта зависимость является инвариантной относительно частоты вращения вала с учетом коррекции на изменения составляющей крутящего момента в зависимости от частоты вращения вала. Экспериментально определялись потери момента вращения в двигателе от сил трения поршней в цилиндрах, а также от усилий, возникающих в результате "насосного" эффекта при всасывании горючей смеси. Уста-



Р и с. 3.6. Структурная схема стенда для исследования зависимости момента вращения от точности импульсов запитания

новлено, что зависимость этих усредненных потерь от частоты вращения коленчатого вала является линейной.

При анализе этих зависимостей рассмотрено два режима работы карбюратора: заслонка закрыта; заслонка максимально открыта. В результате статистической обработки экспериментальных зависимостей получены легко анализируемые уравнения регрессии, выраженные формулами:

$$T_A = m\Omega + b,$$

где $m = 0,232$, $b = 16,3$ (режим 1); $m = 0,224$, $b = 11,9$ (режим 2).

Приведены графики зависимости T_A от Ω для этих режимов работы. С учетом полученных результатов потери крутящего момента на трение в двигателе были отобразены зависимостью

$$T_A = T_{fp}(MAP) + r_e \Omega,$$

где T_{fp} - постоянная составляющая потерь крутящего момента от сил трения в двигателе, зависящая от нагрузки; r_e - эквивалентное сопротивление для сил трения, входящее в составляющую T_A , зависящую от угловой скорости вала.

Проведенные исследования показали, что определение переменной составляющей потерь крутящего момента в двигателе внутреннего сгорания связано со значительными экспериментальными трудностями, поскольку

ку сигнал измерительных преобразователей трудно отделить от помех, имеющих одинаковый спектр. Результаты исследований показали, что переменная составляющая потерь крутящего момента определяется изменениями эквивалентного сопротивления r_e от угловой скорости вала

$$r_e = \frac{\Delta \partial T_A}{\partial \Omega} \Big|_{\Omega_0}.$$

Анализ графиков зависимости переменных потерь в двигателе от угла поворота вала совпадает с теоретическими данными. Доля переменных потерь крутящего момента r_{fp} от сил трения r_e является относительно малой по сравнению с переменной составляющей $r_e(\theta)$ и поэтому r_e можно не учитывать (и составляющую крутящего момента r_{fp} , а также и сопротивление r_c , оказывающее незначительное влияние).

Экспериментально проверялась формула (3), представленная в виде

$$f(\tau) = \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \tau^2(\theta) d\theta \right\}^{1/2}.$$

Измерения r_i и T_i (по 25 точек) в пределах одного оборота с использованием уравнения линейной регрессии при коэффициенте корреляции 0,98 имеют следующий вид:

$$\tau_i = m_i T_i + b_i; \quad m_i = 0,89; \quad b_i = 1,82. \quad (6)$$

Полученная формула показывает слабую зависимость r_i и T_i от частоты вращения коленчатого вала при заданной нагрузке. На основании дополнительных измерений, проводившихся при частотах вращения вала от 1000 до 3600 I/мин, подтвердили правильность (6).

Основной характеристикой крутящего момента T_i является угловое ускорение, для его анализа введена вспомогательная функция, связанная с угловым ускорением

$$|\tau_a(j\lambda)| = \Delta m \left| \frac{a(j\lambda)}{H(j\lambda)} - \tau_p(j\lambda) \right|,$$

тогда

$$T_i \cong |\tau_o(j\lambda)| = \tilde{\tau}_a.$$

Методом линейной регрессии получены зависимости между T_i и $\tilde{\tau}_a$ с коэффициентом корреляции 0,98

$$\tilde{\tau}_a = m_a T_i + b_a; \quad m_a = 83; \quad b_a = -1,82.$$

Результаты испытаний двигателя, проводившихся при разных частотах вращения вала, подтвердили эту зависимость, ее линейность и не-

зависимость от частоты вращения. Определялись теоретические и экспериментальные оценки переходной функции двигателя. Экспериментальные данные получены при резком изменении положения заслонки в течение 125-ти оборотов вала. Переходные функции двигателя, полученные экспериментальным и расчетным путем по эквивалентной схеме замещения, практически совпали.

Проведены исследования неравномерности распределения крутящего момента по углу поворота, связанной с дискретным характером работы отдельных цилиндров, с целью разработки способов диагностики неоптимальной работы двигателя и диагностики неисправностей. На основе анализа и обработки результатов экспериментов отработана методика диагностики частотных и прерывистых (повторяющихся) отказов двигателя.

Эти методы прорабатывались для отработки методов обнаружения и регистрации отказов двигателя внутреннего сгорания в лаборатории Мичиганского университета (США).

3.4. Устройство для диагностирования смазки деталей и узлов двигателя

В процессе эксплуатации автомобиля изменяются шероховатость сопряженных деталей и зазор между ними, появляется сухое трение, накапливаются продукты изнашивания, срабатывают присадки. Выпускаемые автомобили оснащаются индикаторами давления масла — сигнальной лампочкой или стрелочным указателем, не отражающими реальные условия процесса смазывания и изнашивания деталей. Давление масла в магистралях может быть нормальным, но нагрузки превышают прочность масляных пленок, что приводит к увеличению скорости износа сопряженных деталей и аварийной эксплуатации автомобиля.

Количественное определение элементов износа в работающем масле осуществляется методами: спектрального анализа; калориметрическим; индукционным; радиоактивным и др.

Высокой информативностью и универсальностью характеризуется спектральный метод, позволяющий оценивать состояние двигателя по спектру, получаемому при сжигании пробы масла, содержащего элементы износа. Однако этот метод осуществляется в лабораторных условиях и его трудно автоматизировать.

3.5. Электромагнитный датчик для регистрации металлических частиц в картере двигателя

Известно, что частицы металла равномерно распределяются и длительное время находятся во взвешенном состоянии во всем объеме картерного масла [2]. Для регистрации металлических частиц берется проба масла [2] (не позже чем через 20 мин после выключения двигателя), содержание металлических частиц в которой измеряется дифференциальным методом. Результаты исследований приведены в работе [2], где отмечается, что при содержании металлических частиц в диапазоне 0,01 ... 200 мг (в контролируемом объеме датчика) основная погрешность составляет 2% (датчики выполнены в виде полого цилиндра, на внешней стороне которого наматывалась катушка, а во внутреннюю полость устанавливаются стананчики с пробами масла). Аналогично реализуются устройства для регистрации продуктов износа в картере двигателя в местах слива масла (или под узлом трения), устанавливаются индуктивные датчики, параметры которых измеряются мостовой схемой [7].

Регистрация наличия металлических включений в маслопроводах двигателей позволяет диагностировать его состояние, однако для автомобильных двигателей желательно предотвратить его аварийную эксплуатацию при минимальном участии владельца. С этой целью разработано диагностическое устройство, описанное в работе [8].

3.6. Автоматическое устройство для регулирования нагрузки двигателя по несущей способности, температуре и давлению масла

Контроль состояния трущихся пар является актуальной задачей и может быть осуществлен, в частности, по величине электрического сопротивления между сопряженными деталями двигателя. Диагностические устройства, описанные в работе [8], служат для измерения интегральной толщины масляной пленки в работающем двигателе. Рассмотрим способ регулирования мощности двигателя в зависимости от несущей способности, температуры и давления масла. Для диагностики устройство подключается к вращающимся деталям двигателя с помощью медно-графитовых щеток, две касаются распределительного и коленчатого валов, а две закрепляются на блоке цилиндров двигателя. Щетки подключаются к источнику напряжения с большим внутренним сопротивлением, поэтому напряжение на щетках пропорционально зазору в соприкасающихся деталях двигателя.

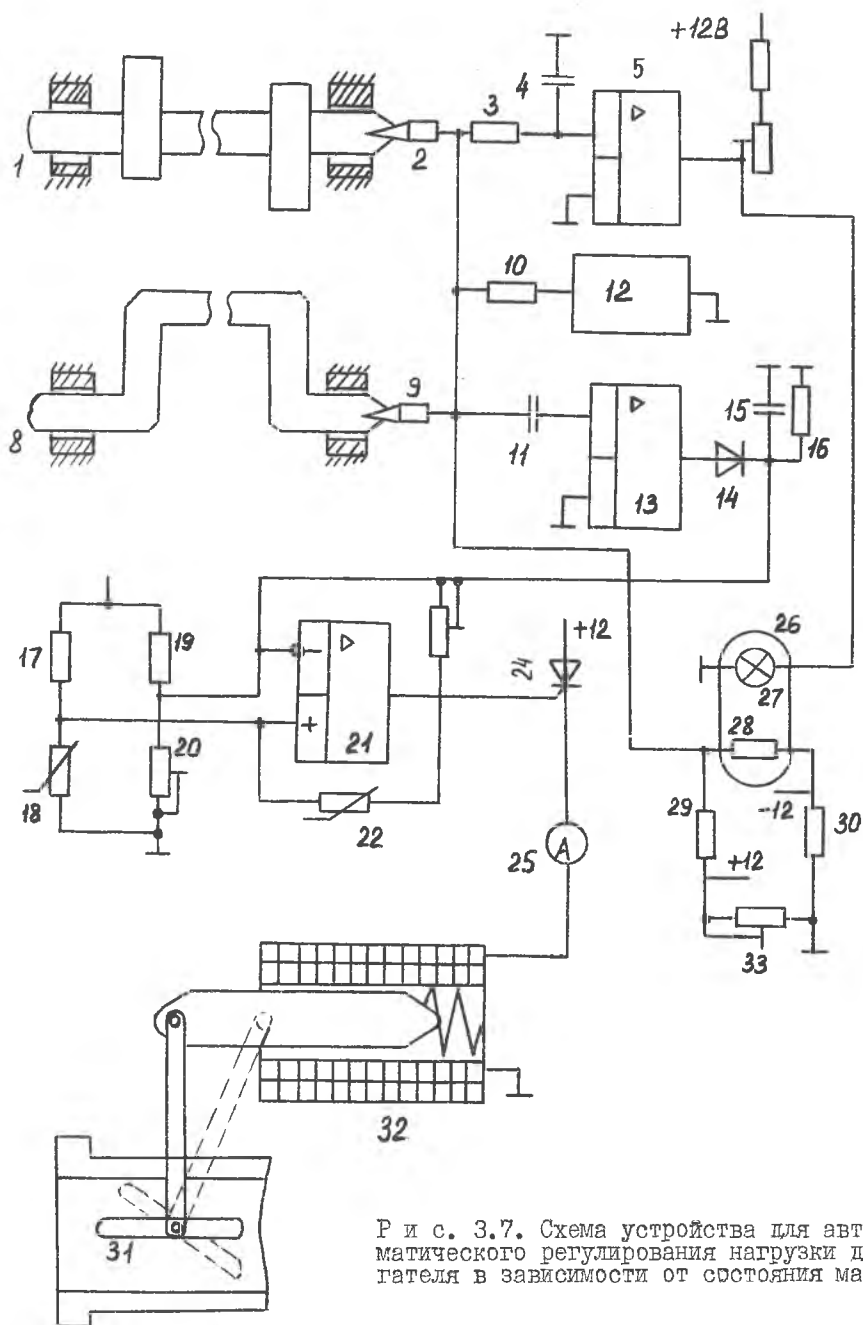
Детали двигателя вращаются с различными скоростями, например, частота вращения коленчатого вала в два раза больше частоты распределительного, поршни за один оборот коленчатого вала два раза оказываются в верхней мертвой точке, а кулачки распределительного вала восемь раз нажимают на коромысла. Толщина масляного слоя между различными деталями изменяется с разной частотой и, следовательно, поочередно выделяя сигналы, можно увеличить объем получаемой информации и диагностировать состояние конкретных пар трения, а также управлять режимом работы двигателя.

Однако в процессе экспериментов выявлено, что в результате зазора смазки происходит эрозия деталей. Для уменьшения электризации измерения осуществляются на переменном токе, а незначительная электризация масла, наблюдающаяся в этом случае, компенсируется путем ее перезарядки напряжением противоположной полярности.

Устройство (рис. 3.7) подключается медно-графитовыми щетками 2, 9 к распределительному I и коленчатому 8 валам двигателя, которые закреплены на подшипниках скольжения и отделены масляной пленкой от "массы" двигателя. Щетки подключены (через высокоомный резистор R10) к выходу генератора I2 переменного тока (частота генератора более чем на два порядка отличается от частоты системы зажигания), а также (через R3) ко входу усилителя постоянного тока 5.

При нормальном режиме работы двигателя (нагрузка меньше допустимой, температура масла 353...363 К или 80...90°C; давление 0,2...0,4 МПа или 2...4 кгс/см², масло незагрязненное) и при допустимом износе сопряженных деталей толщина масляной пленки максимальна, а электропроводность мала. На вход операционного усилителя I3 поступает максимальное напряжение. Сигнал с выхода усилителя I3 подается на интегратор, выпрямляется VD14 и на резисторе R16 выделяется напряжение, пропорциональное средней толщине масляной пленки на деталях двигателя. Операционный усилитель 2I, на вход которого (для учета влияния температуры и давления масла) подаются напряжения с терморезистивного датчика температуры I8 и потенциометрического датчика давления масла 20, а также сигнал с усилителя I3 создают отрицательное смещение на управляющем электроде тиристора 24, закрывая его. Ток амперметра равен нулю, заслонка двигателя может быть полностью открыта (частота вращения вала и нагрузка двигателя не ограничиваются).

При уменьшении зазоров (трение) средний уровень напряжения на интеграторе уменьшается (уменьшение давления или повышение температуры масла приводит к изменению сопротивления датчиков I8, 20), ти-



Р и с. 3.7. Схема устройства для автоматического регулирования нагрузки двигателя в зависимости от состояния масла

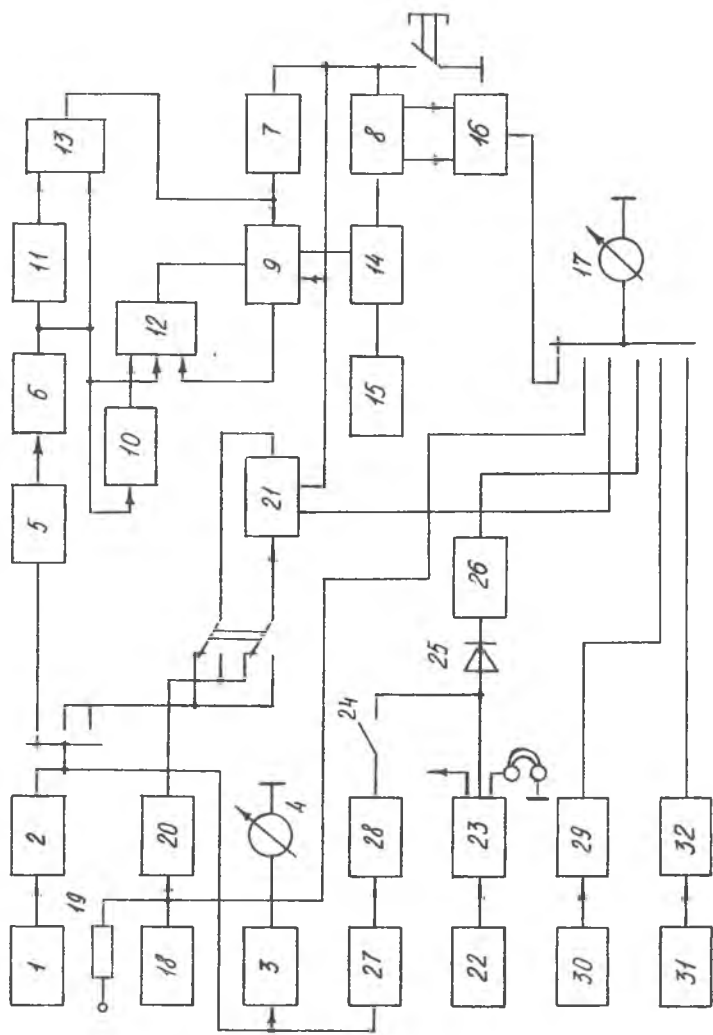
ристор открывается и в обмотке соленоида протекает ток, пропорциональный частотам, характеризующим нарушения в работе системы смазки; сердечник прикрывает заслонку — частота вращения вала уменьшается до безопасного уровня. Очевидно, что при пуске охлажденного двигателя его нагрузка также должна быть ограничена несущей способностью смазки и для этой цели используются датчики давления и температуры масла (см. рис. 3.7).

Электризация слоев масляной пленки вызывает электростатическое изнашивание деталей, полярность заряда зависит от скорости вращения деталей, свойств масел и т.д. Для выявления электризации служит операционный усилитель 5, на входе которого включены R3, C4 (фильтр переменной составляющей). Выходные напряжения усилителя 5 поступают на вход двухполярного компенсатора заряда масла, состоящего из оптрона 26, включенного в одно из плеч моста R29, R30, R33. Увеличение электризации приводит к увеличению яркости свечения лампочки 27, сопротивление фоторезистора уменьшается и на электроды подается постоянная составляющая напряжения, компенсирующая заряд (нулевой уровень компенсирующего напряжения задается с помощью R7). Если в масле обнаруживается отрицательный заряд, то яркость лампочки уменьшается, и подается напряжение положительной полярности.

Это устройство может быть использовано не только в бортовой системе диагностики (например, с оптической индикацией состояния системы смазки), но и для объективной проверки качества сборки, ремонта двигателей, редукторов, шаровых опор, автоматизации процесса заполнения смазкой сопряженных деталей (в частности, подшипников), для чего следует подключить тиристор к электроприводу пресс-масленки.

3.7. Универсальный многофункциональный диагностический стенд

На основании проведенных исследований в работе [2] описан, в частности, стенд УМДП-3, предназначенный для пунктов технического обслуживания и ремонтных предприятий, с помощью которого проверяют: возможность двигателя по параметрам разгона; угол опережения и продолжительность подачи топлива; фазы газораспределения двигателя; общий уровень вибраций в диагностических зонах двигателя; параметры механизмов и сопряжений по временному положению вибросигналов; зазоры в сопряжениях; остаточный моторесурс основных механизмов двигателя; расход газов, прорывающихся в картер; частоту вращения коленчатого



Р и с. 3.8. Универсальный многофункциональный диагностический стенд

вала; температуру воды и масла двигателя. Структурная схема стенда приведена на рис. 3.8, где обозначены: I – датчик верхней мертвой точки; 2, 20 – формователи; 3, 10, 11 – ждущие мультивибраторы; 4 – индикатор частоты вращения; 5, 7, 9, 21 – триггеры; 6, 14, 28 – ключи; 8 – счетчик; 12, 13 – схемы совпадений; 15 – генератор образцовой частоты; 16 – преобразователь; 17 – измерительный прибор; 18 – контактный датчик; 19 – резистор; 22 – вибродатчик; 23 – усилитель; 24 – выход; 25 – детектор; 26 – фильтр; 27 – мультивибратор; 29, 32 – компараторы; 30 – датчик температуры; 31 – датчик-расходомер.

Измерение частоты вращения вала, мощности, угла опережения и продолжительности подачи топлива осуществляется путем преобразования измеряемых величин во временной интервал, связанный с ними функцио-нально. Так, измерение мощности двигателя осуществляется в режиме разгона с минимально устойчивой частоты вращения в диапазоне регулируемых частот $n_1 - n_2$.

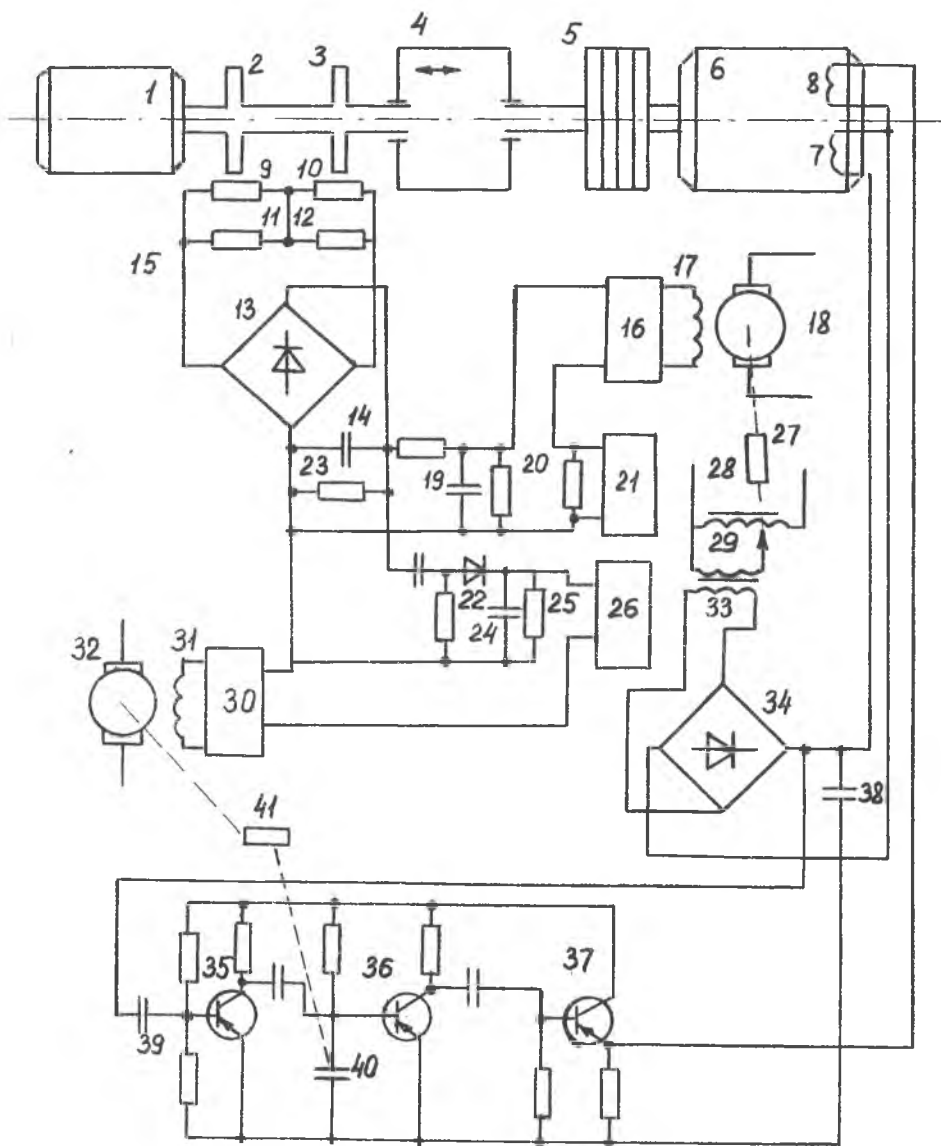
Измерение параметров вибраций механизмов двигателя выполняется при постоянной частоте вращения вала. В режиме селективных измерений на вход фильтра подаются выборки сигнала, несущие информацию о контролируемом параметре, а средний уровень шумов, характеризующий общее состояние двигателя, измеряют, выключив селектор.

Измерение мощности двигателя осуществляется путем электронного перемножения сигналов разрежения во впускном трубопроводе двигателя и частоты вращения вала двигателя при поочередном выключении цилиндров двигателя. Подробное описание процедуры контроля содержится в работах [2], [9].

3.8. Стенды для испытания коробок передач с регулируемой ударной нагрузкой

Существующие стенды для испытания коробок передач, как правило, не обеспечивают условий проверки, аналогичных условиям эксплуатации, так как не воспроизводят случайные нагрузки на валы. Стенд [10], схема которого приведена на рис. 3.9, позволяет проводить испытания, соответствующие реальным условиям эксплуатации. Стенд содержит двигатель внутреннего сгорания 1, кинематически соединенный с коробкой передач 4, маховик 5, электрический тормоз 6 с обмотками возбуждения 7 и 8. На заднем конце вала двигателя установлены диски 2 и 3 для измерения крутящего момента на ведущем валу коробки передач.

Регулирование среднего момента нагрузки осуществляется путем сравнения измеренного и заданного значений нагрузки. Момент вращения



Р и с. 3.9. Схема стенда для регулирования ударных нагрузок на коробку передач

измеряется с помощью импульсных щелевых датчиков 9, 10, а сигнал, пропорциональный нагрузке, подается на компаратор. Реверсивный электродвигатель 18 изменяет выходное напряжение автотрансформатора так, чтобы момент вращения соответствовал заданному.

Аналогично регулируется среднеквадратичное отклонение нагрузки. Переменная составляющая напряжения датчика 15 сравнивается с заданным в источнике 26 значением момента и в зависимости от знака рассогласования реверсивный двигатель 32 изменяет емкость (а, значит, и уровень напряжения) конденсатора С40, что приводит к изменению тока в обмотке возбуждения тормозного двигателя 6.

Регулируя напряжение источников 21, 26, задают желаемые режимы испытания. Так, с увеличением номера передачи коробки средний момент следует уменьшать (путем уменьшения напряжения источника 21), а среднеквадратическое отклонение момента увеличивать.

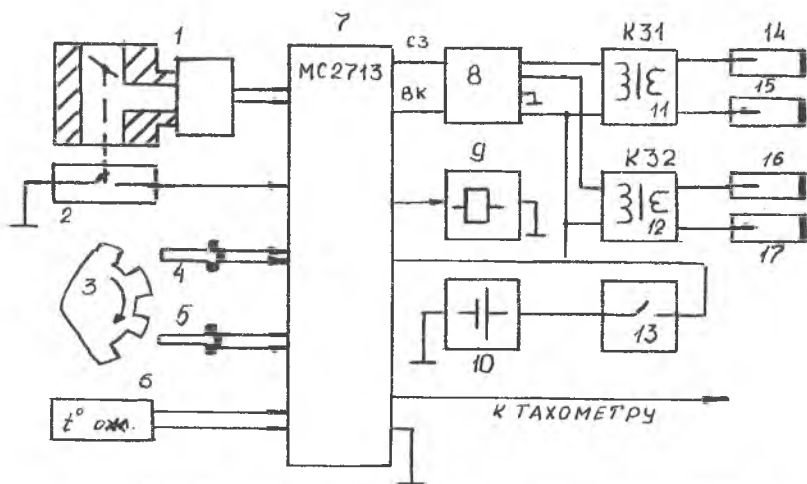
Такой способ испытания обеспечивает достоверной информацией разработчиков автотранспортных средств и в конечном счете повышает экономическую эффективность автотранспорта.

4. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЯ

Для всестороннего и глубокого изучения современных микропроцессорных диагностических стендов необходимо рассмотреть способы управления и регулирования параметров автомобиля и отдельных его систем. Понимание способов регулирования позволит студентам самостоятельно (или на практических занятиях) разработать методику диагностирования автомобилей, оснащенных современными автоматизированными системами управления и регулирования.

4.1. Контроллеры микропроцессорной системы зажигания автомобильного двигателя

Контроллер [11] "Электроника МС 2713" построен на базе БИС серии 1823, служит для управления временем пощачи и длительностью импульса зажигания в зависимости от температуры, момента нагрузки и частоты вращения коленчатого вала двигателя. Параметры двигателя регистрируются датчиками начала отсчета, угловых импульсов (индуктивные), температуры охлаждающей жидкости, разрежения и положения дроссельной заслонки (рис. 4.1). На рис. 4.1 изображены: СЗ - сигнал зажигания; ВК - выбор канала (КЗ1, КЗ2); I - впускной трубопровод



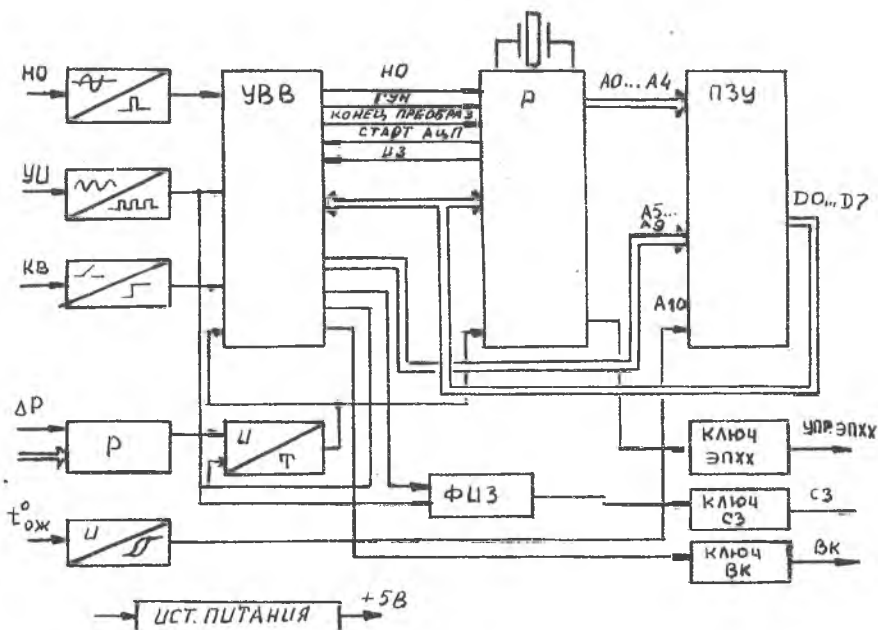
Р и с. 4.1. Контроллер "Электроника МС 2713"

двигателя; 2 - датчик положения дроссельной заслонки; 3 - маховик двигателя; 4 - датчик начала отсчета; 5 - датчик угловых импульсов; 6 - датчик температуры охлаждающей жидкости; 7 - контроллер; 8 - коммутатор; 9 - электромагнитный клапан экономайзера принудительного холостого хода; 10 - аккумулятор; 11, 12 - катушки зажигания; 13 - выключатель зажигания; 14-17 - свечи. По измеренным значениям характеристик работающего двигателя контроллер формирует сигналы управления двухканальным коммутатором катушек зажигания КЗ1 и КЗ2. Сигнал зажигания (СЗ) управляет энергией и временем подачи импульса зажигания, синхронизированным с импульсом от маркерного зуба.

Двухвыводные катушки зажигания служат для бесконтактного распределения высокого напряжения на свечи. Искра возникает в паре цилиндров, в одном - в такте сжатия, а в другом - в такте выпуска.

Для прогретого двигателя (температура охлаждающей жидкости $t_{\text{охл.ж}}$ больше 65°C) сигнал с датчика $t_{\text{о.ж}}$ поступает на старший разряд А10 ПЗУ и изменяет адрес характеристики. В ПЗУ записаны 32 страницы значений углов опережения зажигания, оптимизированные по частоте вращения вала, температуре и мощности на валу (см. функциональную схему, приведенную на рис. 4.2). На рис. 4.2 изображены: НО - формирователь начала отсчета; УИ - формирователь угловых импульсов; КВ - концевой выключатель дроссельной заслонки; ДР - тензорезисторный датчик разрежения; t° - датчик температуры (отклонения) охлаждающей

жидкости; ПЗУ (2 КВ) – карты углов опережения зажигания и служебных данных; ФИЗ – формирователь импульсов зажигания. Зависимость угла опережения зажигания от частоты и разрежения вместе со служебными константами занимает около 1Кб. Разрешающая способность контроллера: 20 мм рт.ст. и 25 оборотов в минуту по частоте, дискретное значение шага угла равно $1,4^{\circ}$.



Р и с. 4.2. функциональная схема контроллера "Электроника МС 2713"

Особенности работы. Для повышения точности регулирования частоты угловых импульсов удваивается. Системные импульсы начала подачи искры (соответствующие максимальному углу опережения зажигания) формируются на 15 удвоенных угловых импульсов раньше верхней мертвой точки (импульс для второй пары катушек зажигания сдвинут на 180° относительно первого). Преобразователь "напряжение - временной интервал" (У/Т на схеме рис. 4.2) служит для измерения разрежения. Адрес страницы ПЗУ, определяющей значение угла опережения зажигания, формируется по измеряемым параметрам, значения которых подаются на адресные входы процессора А5 - А9.

Основные характеристики контроллера

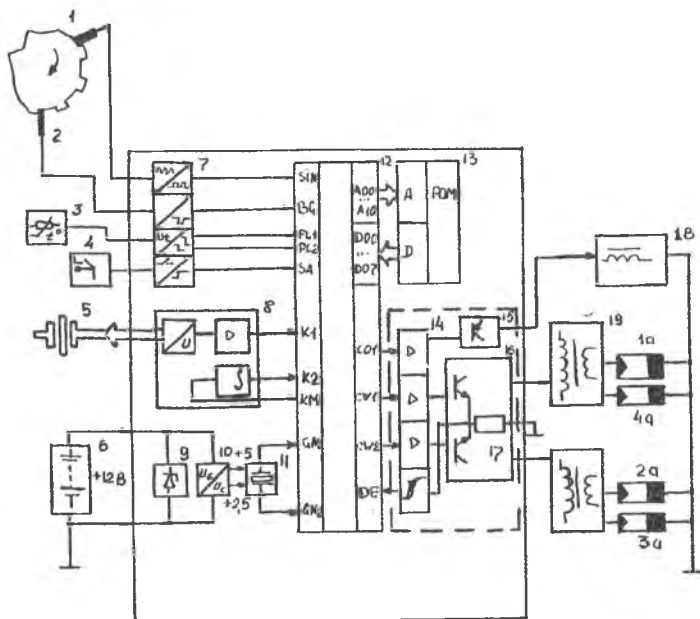
Диапазон частот вращения коленчатого вала	25 - 8000 об/мин;
диапазон измеряемого давления	0 - 620 мм рт.ст.;
диапазон изменения углов опережения зажигания	-20...+70° ;
допустимый диапазон изменения напряжения питания	6 - 16 В;
диапазон рабочих температур	-45°... +85°С.

Контроллер защищен от перемены полярности и замыкания контактов разъема на корпус.

Модернизированный вариант контроллера - МС4004, разработанный на болгаро-советском совместном предприятии "Автоэлектроника", предназначен для микропроцессорных систем управления автомобильными двигателями [12] и заменяет МС2713 (применявшийся на ВАЗ-2108).

Контроллер - многоцелевого назначения: управляет моментом искрообразования на свечах в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя, разрежения во впускном трубопроводе, температуры охлаждающей жидкости и положения дроссельной заслонки, переключает электромагнитный клапан, а также регулирует время накопления энергии в катушках зажигания и распределение импульсов зажигания по цилиндрам. Используются те же датчики (что и в контроллере МС2713), но коммутатор (42.3734) и АЦП (служащий для преобразования сигнала датчика разрежения) встроены в специализированную БИС контроллера. На рис.4.3 изображены: 1 - датчик угловых импульсов; 2 - датчик начала отсчета; 3 - датчик температуры охлаждающей жидкости; 4 - датчик положения дроссельной заслонки; 5 - штуцер для измерения разрежения во впускном трубопроводе; 6 - аккумуляторная батарея; 7 - гибридная интегральная схема входного интерфейса; 8 - активный датчик разрежения; 9 - ограничитель напряжения; 10 - стабилизатор напряжения; 11 - кварцевый резонатор; 12 - БИС процессора; 13 - программируемое запоминающее устройство; 14 - гибридная интегральная схема выходного интерфейса; 15 - выходной каскад экономайзера; 16 - выходная ступень двухканального коммутатора; 17 - токоизмерительный резистор ($R = 0,05 \text{ Ом}$); 18 - электромагнитный клапан экономайзера принудительного холостого хода; 19 - двухвыводные катушки зажигания.

В зависимости от режима работы двигателя процессор 12 вычисляет момент подачи искры в соответствии с картой углов опережения зажига-



Р и с. 4.3. Функциональная схема контроллера MC 4004

ния, записанной в ПЗУ (2 Кб), и обеспечивает двухпороговое управление клапаном холостого хода, регулирует длительность времени накопления энергии в катушках зажигания по сигналу обратной связи (вход DE), т.е. по току, протекающему в первичной цепи катушек зажигания.

В результате обработки сигналов датчиков начала отсчета (2 - вход BG), угловых импульсов (I - вход SIN), температуры охлаждающей жидкости (3 - входы FL1 и FL2), положения дроссельной заслонки (4 - вход SA) и датчика 8 разрежения (вход K1) на шине адреса A00 - A10 формируются коды скорости вращения коленчатого вала (A00 - A04), разрежения за дроссельной заслонкой (A05 - A09) и температуры охлаждающей жидкости (A10).

Эти коды составляют адрес ПЗУ, в котором записаны 64 характеристики углов опережения зажигания, соответствующее значение которого считывается процессором с шины данных D00 - D07 . Если температура жидкости меньше 338 К (65°С), (FL2 = 1), то выбираются 32 характеристики углов зажигания непрогретого двигателя, остальные 32 - характеристики прогретого двигателя (FL1=FL2=0) . В режиме принуди-

тельного холостого хода ($SA = 0$) выбирается два пусковых угла зажигания, соответствующих прогретому и непрогретому двигателям.

Входной интерфейс для согласования датчиков и процессора выполнен в виде гибридной интегральной схемы 7, состоящей из четырех формирователей. Квазисинусоидальные сигналы переменной амплитуды и частоты индуктивных датчиков угловых импульсов и начала отсчета преобразуются в схеме 7 в прямоугольные, выходные напряжения датчиков температуры и температурной коррекции преобразуются в логические сигналы, поступающие на входы FL1 и FL2. Четвертый формирователь необходим для согласования датчика положения прорезной заслонки с входом SA процессора.

Модуль 8 датчика разрежения, состоящий из дифференциально включенного датчика (16PC15DE), масштабирующего усилителя и интегратора, монтируется на процессорной плате. Выходное напряжение масштабирующего усилителя (1...3 В), пропорциональное разрежению во впускном трубопроводе, подается на аналого-цифровой преобразователь процессора (вход K1). Приведенная погрешность модуля (т.е. преобразования разрежения в цифровой код) составляет $\pm 3\%$.

Гибридная интегральная микросхема I4 содержит мощные транзисторы для управления исполнительными устройствами — клапаном холостого хода и катушками зажигания (см. схему). Для защиты транзисторов их коллекторные токи ограничены. Токи короткого замыкания электромагнитного клапана холостого хода и ключей зажигания ограничены на уровне 0,75А и 8 А соответственно. При остановленном двигателе и включенном питании контроллера предусмотрено безыскровое отключение тока через катушки зажигания. Оптимальное для данного режима работы двигателя время накопления энергии определяется по напряжению на резисторе, включенном в эмиттеры транзисторов I6, I7, которое подается на компаратор, содержащийся в схеме I4 (см. рис. 4.3).

Стабилизатор напряжения питания I0 обеспечивает необходимые для контроллера уровни напряжений и защиту от импульсных напряжений в бортовой сети. Дополнительно для этой цели используется быстродействующий мощный стабилитрон, ограничивающий импульсные напряжения на уровне 40 В.

4.2. Экстремальная система управления двигателем

В системах зажигания с механическими и электрическими автоматами момент искрообразования регулируется по частоте вращения коленчатого вала двигателя и разрежению во впускном трубопроводе, а время

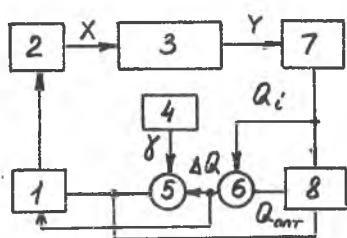
накопления энергии в катушке — только по частоте вращения коленчатого вала. Такая ограниченность числа управляемых факторов и их неоднозначность затрудняют решение проблем токсичности отработавших газов и топливной экономичности двигателей. Электронные системы с программным управлением незначительно лучше, так как с увеличением числа управляемых параметров повышается сложность системы и алгоритм закона регулирования. Для точной программы регулирования нужно располагать большим массивом экспериментальных данных по всем режимам работы двигателя и, следовательно, требуются точные датчики и измерительные системы. Но, работая по жесткой программе, нельзя учесть технологический разброс характеристик двигателей и случайные эксплуатационные факторы, не поддающиеся прогнозированию при составлении программы.

Наиболее эффективны, с рассматриваемой точки зрения, системы с адаптивным управлением моментом искрообразования, способные осуществлять непрерывный поиск оптимума по заданному параметру, работающие по изменяющемуся закону регулирования, обеспечивающему, например, экстремальные значения интересующих конструктора или потребителя показателей ДВС. Для реализации адаптивной системы автоматического экстремального регулирования необходимо, чтобы объект управления обладал характеристикой с оптимальной точкой (экстремумом). Форма и количественные данные, характеризующие связь входных и выходных величин, ей не нужны и недостаток априорной информации в системе восполняется за счет информации текущей, получаемой в виде реакции объекта на вводимые поисковые воздействия.

Экстремальные системы автоматического управления в зависимости от реализуемого алгоритма управления классифицируются на системы с непосредственным использованием сигнала; с непрерывным модулирующим воздействием; с управлением по градиенту сигналов; шагового типа (дискретные); с "запоминанием" экстремума, а также их сочетания. Наиболее перспективна для двигателя внутреннего сгорания экстремальная система управления дискретного действия с запоминанием экстремума [13], приведенная на рис. 4.4.

В систему входят: объект регулирования 3; датчик 7 выходного параметра; запоминающее 8 и сравнивающие 5 и 6 устройства; задатчик 4 порога чувствительности; устройство 1 вычисления управляющего воздействия и исполнительное устройство 2.

Рассмотрим упрощенный способ регулирования. Допустим, что входной сигнал (величина угла опережения зажигания) изменяется (например, увеличивается) в соответствии с характеристикой объекта регулирования, начинает изменяться и выходной сигнал. При достижении экст-



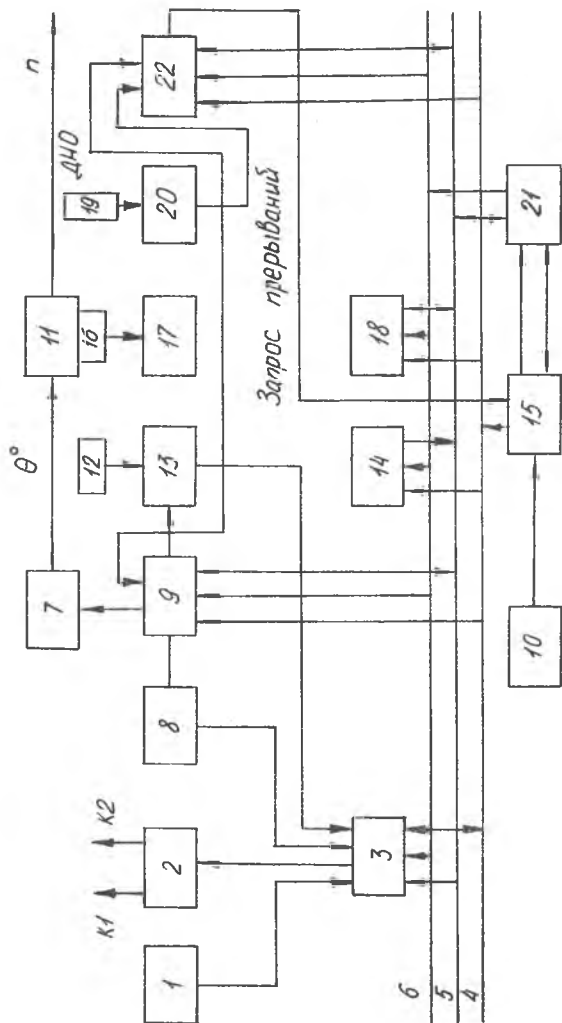
Р и с. 4.4. Функциональная схема экстремальной системы регулирования мощности двигателя

ремального значения система "запоминает" данный экстремум. При дальнейшем изменении входного сигнала сигнал на выходе начинает меняться в обратном направлении (в данном случае - уменьшаться). Как только разность между "запомненным" оптимумом и текущим значением выхода станет критической, т.е. начнет выходить за пределы установленной зоны стабилизации управляющего входного сигнала, то дается команда на изменение направления его регулирования. Таким образом система удерживает выходной

сигнал вблизи оптимума.

Регулируемыми параметрами могут быть токсичность отработавших газов, удельный расход топлива, мощность и др. Но для оптимизации по токсичности требуются простые, точные и надежные датчики, работающие в широком диапазоне температур, сортов топлива и режимов работы двигателя и обладающие высокой скоростью преобразования информации. Регулирование по удельному расходу топлива тоже связано с быстродействием средств измерения количества топлива в пульсирующем потоке. При регулировании мощности требования к точности и скорости преобразования снижаются, т.к. для экстремальной системы важна не абсолютная величина контролируемого параметра, а лишь его приращение и знак. Информацию о максимальной мощности на каждом режиме можно получить несколькими способами: измерением давления в цилиндрах двигателя, крутящего момента или частоты вращения коленчатого вала. Для измерения давления в цилиндрах нужны надежные и долговечные датчики, при установке которых требуется доработка головки блока цилиндров и неизбежна междоцилиндровая нестабильность измерений, а при измерении крутящего момента погрешность увеличивается с его уменьшением на режимах холостого хода и малых нагрузок.

Структурная схема экстремальной автоматизированной системы управления углами опережения зажигания с запоминанием экстремума, оптимизируемым параметром в которой является максимальная мощность двигателя, приведена на рис. 4.5. В ее состав входят: двигатель внутреннего сгорания и система управления (автомат оптимизации), включающая центральный микропроцессор I5; ПЗУ I4 объемом 4 КВ ; ОЗУ I8 объемом I КВ ; два параллельных интерфейса 3, к которым подключены дисплей 8, клавиатура I, аналого-цифровой преобразователь I3 последовательно-



Р и с. 4.5. Структурная схема экстремальной системы регулирования

го приближения для преобразования аналоговой информации датчиков разрежения (пьезорезистивного типа) или расходомера топлива термоанемометрического типа; два аналого-цифровых преобразователя 2; два системных таймера 9 (первый предназначен для формирования системных меток реального времени, тактовой частоты обслуживания дисплея и аналого-цифрового преобразователя, второй — для обработки временных интервалов в единицах системного времени (организация частотомера), формирования импульсов зажигания и сигнала выбора канала электронного коммутатора); восьмиуровневый контроллер прерываний 22, обеспечивающий поддержку режима реального времени; генератор 10 тактовых импульсов, формирующий синхросигналы, системную тактовую частоту и сигнал системного сброса; системный контроллер 21, формирующий управляющие сигналы и обеспечивающий двунаправленную буферизацию шины данных.

Эстремальная система включает также датчики расхода топлива 12, детонации 16 и начала отсчета 19, токонесущие магистрали 4, 5 и 6 (соответственно управления, передачи данных и адресную) и фазоизмерители 17 и 20.

Частота вращения коленчатого вала измеряется методом дискретного счета периода вращения. Импульс начала отсчета — запускающий для обоих системных таймеров и по его фронту фазоизмеритель начала отсчета 20 через контроллер 22 обрабатывает запрос в микропроцессор 15, который начинает обслуживать этот запрос прерывания: считывается из канала первого системного таймера длительность одного оборота и перезапускается второй системный таймер, загруженный значением времени в предшествующий оборот вала.

После спада импульса начала отсчета оба таймера работают автономно, не запрашивая центральный процессор.

Вычитанием кодов временных интервалов получают величину и знак приращения частоты. Если система движется к экстремуму, то текущим значением частоты в ОЗУ заменяется предыдущее; если движение от экстремума — предыдущая частота используется как индикаторная.

Затем вычисляются величины чувствительности и шага системы, предельные приращения угла опережения зажигания, знак и приращение этого угла на шаге, его величина и др. После выполнения всех программ подпрограмма загрузки загружает все вычисленные величины во второй системный таймер, порты второго интерфейса и выдает их на дисплей. Затем следует команда на останов процессора и перевод его в режим ожидания.

Запустить процессор может либо контроллер прерываний, по запросам из линий детонации, начала отсчета и управления режимом, либо сигнал системного сброса.

Так система работает в случае отсутствия детонации. Если же при работе двигателя был выделен сигнал детонации, то процессор получает запрос прерывания по старшему приоритету – линии детонации-и переходит к выполнению программы "прерывание – детонация".

Сигналы детонации регистрируются за 16 оборотов вала. Если более чем в восьми оборотах из 16 зарегистрирована детонация, то угол опережения уменьшается на $5,6^{\circ}$; если зарегистрирована в диапазоне 4...8 оборотов из 16, то на $2,7^{\circ}$; если число появлений детонации меньше четырех, угол опережения зажигания не изменяется.

При поступлении запроса по линии управления режимом процессору дается команда – комментарий входа или выхода из режима экстремального регулирования со следующего оборота коленчатого вала. При этом переход на программу экстремального регулирования осуществляется с программы жесткого регулирования, что сокращает до минимума время выхода системы на оптимальный режим.

Жесткая программа регулирования момента искрообразования построена по оригинальному алгоритму с использованием матрицы делителей (вместо величин, соответствующих углу опережения зажигания). Такой прием позволяет одновременно вычислить этот угол и выполнить линейную интерполяцию его значения.

На резких неустановившихся режимах работы двигателя подпрограмма контроля "загрубляет" систему регулирования, так чтобы приращение выходного параметра не превышало предельно допустимого значения. Эта программа работает до выхода на нормальный режим.

Экстремальная система автоматического управления углом опережения зажигания и базовый набор ее программно-аппаратных средств обладают функциональной завершенностью, позволяют применять их в качестве стеновой системы управления ДВС, при доводочных работах, определении экспериментальных характеристик, в бортовой системе управления и т.д.

4.3. Антиблокировочная противобуксочная система управления для автотранспортных средств

Система управляет движением автомобиля, предотвращает блокирование колес при экстренном торможении и проскальзывание – при интенсивном ускорении движения или трогании с места и содержит два датчика частоты вращения колес, блок управления (контроллер), семь исполнительных механизмов управляющих тормозными моментами колес и тяговым усилием [14].

Предусмотрен диагностический режим для определения неисправнос-

ти датчиков, контроллера, исполнительных механизмов и информирования водителя. При обнаружении неисправности регулирование автоматически отключается, а тормозная система и система управления топливоподачей продолжают работать в обычном режиме.

В контроллере реализован режим "черного ящика" для запоминания информации за 30 с с момента экстренного торможения (записываются состояние системы и характеристики торможения).

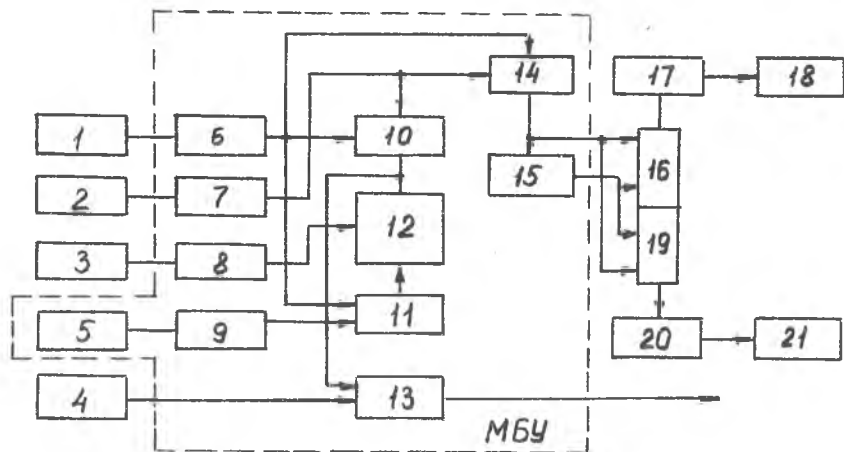
4.4. Микропроцессорные системы диагностирования

Опыт разработки и эксплуатации средств технического диагностирования может быть сформулирован в общих технических требованиях [15], предъявляемых к СТД: диагностирование должно осуществляться без снятия блоков с автомобиля, без их разборки и изменения монтажных и кинематических схем; воздействия на системы автомобиля в процессе диагностирования не сказываются на его работоспособности и не нарушают нормальное функционирование систем; общая достоверность диагноза — не ниже 0,85 (обеспечивается максимальное приближение назначаемого объема ремонтно-регулирующих работ к фактической потребности); предел локализации неисправностей определяется технико-экономической целесообразностью; параметры датчиков диагностических сигналов соответствуют унифицированному ряду величин, установленных стандартами. Этим условиям соответствуют современные системы технической диагностики, описания которых приведены ниже.

4.5. Автотестер для диагностирования микропроцессорной системы управления двигателем

Автотестер предназначен для диагностирования системы управления двигателем, состоящей из микропроцессорной системы зажигания, схема которой приведена на рис. 4.6, и электронной системы впрыска топлива [16]. На рис. 4.6 изображены: 1 — датчик начала отсчета; 2 — датчик угловых импульсов; 3 — датчик температуры охлаждающей жидкости; 4 — концевой выключатель дроссельной заслонки; 5 — датчик разрежения (давления); 6 — формирователь сигнала датчика начала отсчета; 7 — формирователь сигнала датчика угловых импульсов; 8 — формирователь сигнала датчика температуры; 9 — формирователь сигнала датчика разрежения; 10 — блок измерения частоты вращения коленчатого вала; 11 — блок измерения величины разрежения (давления); 12 — блок ПЗУ; 13 — блок управления экономайзером принудительного холостого хода; 14 — блок вычисления углового положения коленчатого вала двигателя; 15 — блок

формирования сигнала выбора каналов; 16 – электронный коммутатор зажигания (первый канал); 17 – катушка зажигания (первого и четвертого цилиндров); 18 – провода и свечи (первого и четвертого цилиндров); 19 – электронный коммутатор зажигания (второй канал); 20 – катушка зажигания (второго и третьего цилиндров); 21 – провода и свечи (второго и третьего цилиндров), МБУ – микропроцессорный блок управления.



Р и с. 4.6. Структурная схема микропроцессорной системы зажигания МПСЗ

Автотестер измеряет 26 параметров, питается от бортовой сети и измеряет ее параметры, угол опережения зажигания, амплитуду пробивного напряжения, амплитуду и длительность импульсов тока первичной цепи зажигания и время отключения тока, длительность искры на свечах, напряжение на датчике температуры охлаждающей жидкости, отклонение частот сигналов датчиков угловых импульсов и начала отсчета, отклонения частот сигналов вторичного напряжения и начала отсчета, напряжение на электромагнитном клапане холостого хода, датчиках температуры воздуха и положения дроссельной заслонки и др.

В состав тестера входят семь модулей формирования, масштабирования, преобразования и индикации сигналов, два модуля программно-вычислительных операций и пульт управления. К объекту диагностирования он подключается при помощи устройств сопряжения, датчиков тока и вторичного напряжения.

В тестовом режиме на входы контроллера подаются воздействия, имитирующие сигналы датчиков начала отсчета, угловых импульсов, температуры жидкости, сигналы датчиков дросселя холостого хода, температуры воздуха и реле стартера.

Выбор измеряемого параметра осуществляется клавишами на пульте управления, результат измерений выводится на цифровые жидкокристаллические индикаторы.

Техническое состояние двигателя определяется при его пуске по переменной составляющей напряжения аккумулятора, например, предварительно программно заблокировав сигнал зажигания и впрыска топлива, можно оценить компрессию по цилиндрам двигателя или организовать другие тестовые воздействия для диагностирования состояния узлов двигателя. Более подробно процедура проверки микропроцессорной системы управления двигателем рассмотрена в работе [16].

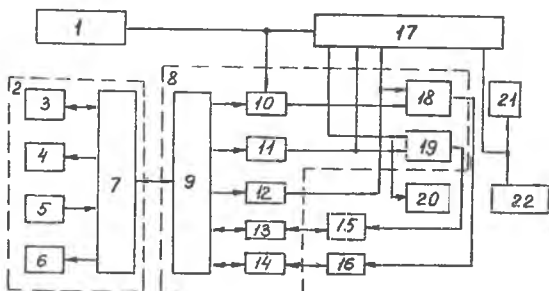
4.6. Автоматизированная система контроля блока управления двигателем

Автоматизированная система контроля блока управления двигателем разработана в НПО "Автоэлектроника" для диагностики блока управления 90.361 (входящего в состав комплексной системы управления двигателем) на соответствие его параметров требованиям ТУ [17].

Функциональная схема автоматизированной системы приведена на рис. 4.7, где обозначено: блок управления 1; диалоговый вычислительный комплекс 2; накопитель на ГМД 3; дисплей 4; клавиатура 5; печатающее устройство 6; микроЭВМ 7 (МС 1201.02); блоки сопряжения 8 и имитации разрежения во впускном клапане 22; платы интерфейса 9, имитации нагрузки 10, датчиков уровня 11 и частоты 12, сопряжения с частотомером 14 и вольтметром 13; цифровой вольтметр 15 и частотомер 16; блок управления 17; коммутаторы сигналов частотомера 18 и вольтметра 19; осциллограф 20; барометр 21.

ЭВМ 2 обеспечивает согласованную работу всех входящих в состав системы узлов и приборов в реальном времени (в режиме программного управления с учетом подаваемых с клавиатуры 5 команд оператора). Блок сопряжения 8 подключается к ЭВМ 7, входящей в состав диалогового вычислительного комплекса, при помощи платы интерфейса 9 для электрического и логического соединений плат блока сопряжения с ЭВМ.

Плата 11 имитации датчиков уровня формирует сигналы, имитирующие напряжения на датчиках температуры охлаждающей жидкости, воздуха, положения дроссельной заслонки и реле стартера. Плата имитации



Р и с. 4.7. Функциональная схема автоматизированной системы контроля блока управления двигателем

датчиков частоты 12 преобразует импульсы, которые поступают с датчиков угловых импульсов и формирует импульсы начала отсчета. Сигналы с плат имитации датчиков уровня и частоты подаются на соответствующие контакты разъемов контролируемого блока управления, а в его измерительную камеру по трубке, присоединенной к штуцеру, с блока имитации разрежения во впускном коллекторе 22 поступает воздух с заданной величиной абсолютного давления (соответствующей разрежению во впускном коллекторе на моделируемом режиме работы двигателя).

В зависимости от моделируемого режима работы двигателя (заданного в плате II) на выходе контролируемого блока управления формируются импульсы управления электромагнитными форсунками впрыска топлива в цилиндры двигателя; импульсы управления пусковой электромагнитной форсункой, зажигания, разделения каналов и импульсы управления реле электробензонасоса, которые воспринимаются платой 10 имитации нагрузки.

Все входные и выходные сигналы через коммутаторы 18 и 19 поступают на измерительные входы соответственно частотомера 16 и вольтметра 15.

В процессе измерения формируются (в первом приближении) входные сигналы и измеряются их электрические параметры. Те сигналы, параметры которых не соответствуют норме, автоматически корректируются, причем до тех пор, пока это соответствие не будет достигнуто или встроенные средства самодиагностики не установят, что необходим ремонт самой системы контроля. Аналогично проверяются сигналы блока управления, результаты проверки выводятся на печать или экран дисплея.

Автоматизированная система контроля, программное обеспечение которой написано на МАКРО-11, помимо основных операций выполняет диагностику входящих в нее узлов и приборов, и в случае обнаружения от-

клонений на экран дисплея выводится соответствующее сообщение, что практически сводит к нулю вероятность ошибки определения параметров блока управления.

Точность измерения электрических параметров входных сигналов блока управления: $\pm 0,005$ В (сигналы датчиков температуры жидкости и воздуха, положения дроссельной заслонки и реле стартера); $\pm 0,001$ Гц (сигналы угловых импульсов и начала отсчета); ± 133 Па или 1 мм рт.ст. (разрежение во впускном коллекторе); выходных сигналов: $\pm 0,01$ мс (длительность импульсов управления электромагнитными форсунками пуска и впрыска, реле электробензонасоса); $\pm 0,01$ В (логические уровни импульсов управления пусковой электромагнитной форсункой, реле электробензонасоса, а также импульсов зажигания, разделения каналов); $\pm 0,5^\circ$ (угол опережения зажигания); $\pm 0,01$ (скважность импульсов зажигания, разделения каналов).

Указанная точность достигается благодаря использованию в составе автоматизированной системы контроля отечественных цифрового вольтметра Ф4834, цифрового частотомера ЧЗ-63 и барометра В-316, а также соответствующей программы коррекции входных сигналов и обработки результатов измерения, позволяющей максимально реализовать возможности этих приборов.

Путем модификации программного обеспечения эту систему несложно адаптировать для проверки любого блока управления зажиганием и (или) впрыском топлива. Однако опыт ее эксплуатации показал, что для повышения производительности системы необходимо ввести в ее состав программно управляемый блок имитации разрежения во впускном коллекторе. В рассмотренной системе для каждого контролируемого блока управления данные абсолютного давления воздуха вводятся оператором, что отнимает много времени.

4.7. Диагностика блока управления экономайзером принудительного холостого хода

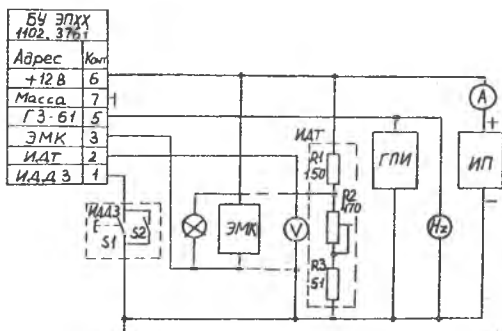
В целях снижения расхода топлива и уровня токсичности отработавших газов широко применяются электронные системы управления — экономайзеры принудительного холостого хода. Жесткие условия работы и недостаточная надежность комплектующих элементов обуславливают необходимость систематического диагностирования блока управления в процессе эксплуатации. Экономайзеры выпускаются 3- и 2-канальные и служат для прерывания подачи топлива в двигатель на режиме принудитель-

ного холостого хода по трем параметрам: частоте вращения вала, положению дроссельной заслонки, температуре охлаждающей жидкости (3-канальные) [18].

Техническое состояние блока управления оценивается по следующим диагностическим параметрам: пороговым частоте и напряжению (на входе датчика температуры), при которых происходит включение (прямой ход, когда частота увеличивается) и отключение (обратный ход, когда частота уменьшается) электромагнитного клапана (пороговые частота и напряжение должны быть в пределах 63...68,3 Гц и 8,7...9,1 В, отличие напряжений при прямом и обратном ходе должно быть не более $0,4 \pm 0,1$ В; выходному напряжению, т.е. напряжению, подаваемому на обмотку электромагнитного клапана (при включении клапана оно не должно отличаться от напряжения питания блока более чем на 1,3 В; при выключении — быть не более 1 В); потребляемому току (при включенном клапане — не более 1,9 А, при выключенном — не более 0,4 А). Кроме того, должны соблюдаться еще два условия работоспособности блока: при закрытии дроссельной заслонки клапан включается, при открытии — выключается (обесточивается); при предварительно закрытых дроссельных заслонках блок не должен срабатывать и включать электромагнитные клапаны.

Для диагностирования блока используется лабораторный стенд, состав и схема подключения которого к диагностируемому блоку показаны на рис. 4.8.

В стенд входят: генератор прямоугольных импульсов (ГПИ), имитирующий первичную цепь системы зажигания; имитатор датчика температуры (ИДТ); два электромагнитных клапана (нагрузка блока); сигнальная лампочка (для контроля срабатывания ЭМК); частотомер (Hz) для изме-



Р и с.4.8.Схема стенда для диагностики блока управления экономайзера

рения частоты входных импульсов; имитатор (кнопка S4 и тумблер S2) датчика положения дроссельной заслонки (ИДДЗ); вольтметр (V) для измерения напряжения на датчике температуры и обмотке ЭМК; амперметр (A).

В отличие от обычно используемого имитатора датчика температуры (регулируемый источник напряжения) в стенде использован резистивный делитель (R1-R3), позволяющий имитировать датчик температуры, не нарушая режим работы блока управления.

Пороговую частоту лучше проверять в режиме обратного хода, т.е. при уменьшении частоты с 70...75 Гц, а напряжение устанавливается равным 6...7 В (имитируется прогретое состояние двигателя) и включается тумблер S2 (имитируется закрытое состояние дроссельных заслонок). Уменьшая частоту до момента выключения ЭМК и погасания лампы, определяют пороговую частоту.

Аналогично проверяется пороговое напряжение канала контроля температуры охлаждающей жидкости; напряжение имитатора датчика температуры устанавливается равным 5-6 В, частота входных импульсов устанавливается равной 75...80 Гц, S2 включается, электромагнитный клапан срабатывает и загорается лампочка. Пороговое значение температуры определяется путем увеличения напряжения до момента выключения клапана ЭМК.

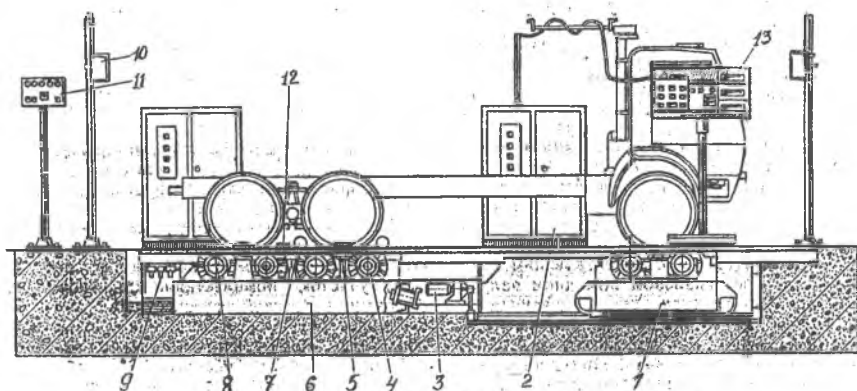
При проверке работоспособности блока по каналу частоты вращения вала включают тумблер S2 и увеличивают частоту импульсов. При исправной работе канала блокировки и частоте больше пороговой блок не должен срабатывать (сигнальная лампочка не должна загораться).

Типичные и относительно просто устранимые неисправности блока управления: блок не реагирует на входные воздействия и находится в выключенном состоянии (выходное напряжение отсутствует) или постоянно включен (не выключается после выхода двигателя из режима принудительного холостого хода).

4.8. Универсальные стенды для обкатки и проверки грузовых автомобилей

Горьковским конструкторско-технологическим институтом создана линия обкатки и проверки состояния, работоспособности и качества сборки автомобилей, сошедших с конвейера или прошедших ремонт. Линия состоит из двух стендов - обкаточного и контроля тормозной системы [19].

Обкаточный стенд предназначен для испытания двигателей и агрегатов трансмиссий грузовых автомобилей с колесной формулой 6-4. Для имитации работы в дорожных условиях служит опорная система из шести

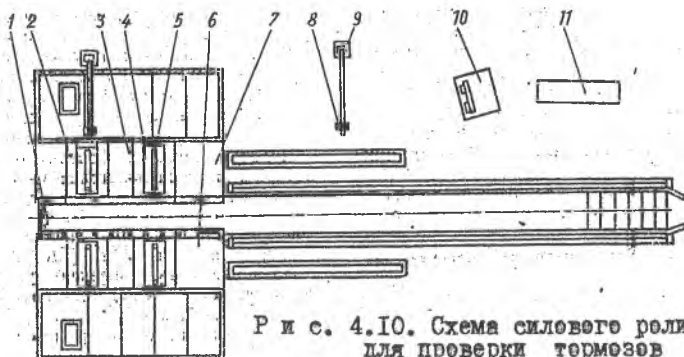


Р и с. 4.9. Схема обкаточного стенда

пар барабанов, связанных с индукторным тормозом. Тяговое усилие, скорость, время обкатки, "пройденный" путь и другие показатели отображаются на световых табло пульта управления. Компоновка универсального стенда для обкатки грузовых автомобилей приведена на рис. 4.9, где обозначено: I – передняя подвижная секция; 2 – шкаф управления; 3 – механизм перемещения; 4 – беговые барабаны средней секции; 5 – пневмоподъемники; 6 – основание; 7 – предохранительные ролики; 8 – беговые барабаны; 9 – пневморазводка; I0 – комплект зеркал; II – пульт управления базой стенда; I2 – нагружающее устройство; I3 – подвесной пульт показывающих приборов и управления стендом.

Стенд оснащен совершенной карданной передачей, электронной системой измерения (предусмотрено одновременное и раздельное измерение скоростей вращения колес), надежной механической передачей (в отличие от гидравлической, применяемой в стендах "Хейфманн"), прост в обслуживании. Схема силового роликового стенда для проверки тормозов приведена на рис. 4.10, где обозначено: I – пневмооборудование; 2 – тормозные ролики; 3 – рама; 4 – подъемники; 5 – сигнальный ролик; 6, 7 – правая и левая опорные секции; 8 – электрооборудование; 9 – перемещаемый пульт управления; I0 – показывающие приборы; II – приборы управления.

Отличительными особенностями тормозного стенда (см. рис. 4.10) являются: проведение испытаний тормозов средней и задней оси одновременно и каждой оси в отдельности, измерение разности тормозных сил колес, увеличенная сила сцепления колес с беговыми роликами, фиксация результатов измерений и автоматический сброс показаний, удобное расположение и наглядность приборов, простота обслуживания и эксплуатации.



Р и с. 4.10. Схема силового роликового стенда для проверки тормозов

Технические характеристики барабанного секционированного обкаточного стенда:

Производительность	5 автомашин в час,
Допустимая нагрузка на соосные барабаны	100 кН;
Тяговое усилие индукторного тормоза....	10 кН;
Мощность	220 кВт;
Скорость (максимальная) на стенде	80 км/ч.

При измерении тормозных сил на двух опорных секциях имитируется движение автомобиля с выключенным двигателем. Реактивные моменты вращающиеся от электропривода роликов передаются на силоизмерительные датчики, а результат измерения – тормозные силы на каждом колесе и их разность (в процентах) индицируется на световом табло. Привод стенда автоматически отключается при остановке колес. Если тормозные силы не соответствуют норме, тормоза регулируются и вновь диагностируются. Изготавливаются стенды ПО "КамАЗ".

Технические характеристики силового роликового стенда для проверки тормозов:

Производительность	8 автомашин в час;
Допустимая нагрузка на ось	130 кН;
Максимальная тормозная сила	25 кН.

4.9. Микропроцессорные метер-тестеры

Метер-тестер М1 предназначен для проверки технического состояния 4-цилиндровых двигателей легкового автомобиля с классической и электронной системами зажигания [20].

В приборе 7 датчиков: тока, напряжения, прерывателя, начала отсчета, верхней мертвой точки и он комплектуется стробоскопом. Все

проверки и измерения осуществляются без разборки двигателя. Управление процессом диагностики производится с клавиатуры, а результаты диагностирования индицируются на газоразрядном матричном дисплее - 16·10 знаков.

Измеряемые параметры двигателя сравниваются с записанными в блоке памяти (число цилиндров, порядок их работы, моменты инерции движущихся элементов конструкции, допустимые величины измеряемых параметров), благодаря этому возможен автоматический контроль и диагностика двигателя (при измерениях на дисплее выводятся инструкции оператору). После окончания теста - все накопленные данные индицируются в виде сводки. В таблице приведены основные характеристики мотор-тестера М1.

Т а б л и ц а
Основные технические характеристики мотор-тестера М1

Измеряемый параметр	Диапазон	Погрешность
Частота вращения коленчатого вала, мин	0 - 7000	±10
Напряжение, В:		
постоянного тока	0 - 20	±0,2
на контактах прерывателя	0 - 2	±0,05
на распределителе зажигания	0 - 40 кВ	±10%
на электродах свечей	0 - 10 кВ	±10%
Постоянный ток, А	0 - 500	±4%
Углы, °		
замкнутого состояния контактов	0 - 90	±0,5
опережения зажигания	-15 +90	±0,5
Асинхронизм искробразования, °	0 - 20	±0,5
Длительность искры по цилиндрам, мс	0 - 5	±0,1
Относительная компрессия по цилиндрам, %	0 - 100	±2
Эффективная мощность двигателя, кВт(л.с)	0 - 300 (0 - 500)	±5%
Изменение частоты вращения коленчатого вала при автоматическом отключении каждого из цилиндров, %	0 - 100	±1
Частота вращения коленчатого вала, мин	0 - 500	±1
Мощность механических потерь, кВт(л.с.)	0 - 100 (0 - 150)	±5%
Время установления рабочего режима, мин	2	
Потребляемая мощность	65 Вт, 220 В	
Диапазон рабочих температур, °С	5 - 40	
Габариты, мм	380x280x210	
Масса, кг	9,5	

Мотор-тестер MI-2 предназначен для проверки технического состояния карбюраторных двигателей (с числом цилиндров от 2 до 8) легковых и грузовых автомобилей отечественного и зарубежного производства. Обладает расширенными функциональными и сервисными возможностями по сравнению с MI. В его памяти записаны данные на 25 типов двигателей, которые могут расширяться при испытании новых.

Мотор-тестер M2 предназначен для диагностирования карбюраторных и дизельных двигателей с числом цилиндров 4, 6, 8. Для контроля карбюраторных двигателей используются те же датчики и методы, что и в тестере MI. При измерении высокого напряжения в двигателях с экранированной системой зажигания предусмотрены переходные устройства.

Для регистрации давления в топливпроводах дизелей используется накладной пьезоэлектрический датчик давления. Угол начала и длительность подачи топлива, максимальное и остаточное давление в топливпроводе измеряются с помощью переходника в разрыве топливпровода, мгновенный и текущий расход топлива регистрируются с помощью датчика першнневого типа.

M2 имеет интерфейс для сопряжения с ПЭВМ, а также программную поддержку (оперативное сохранение диагностической информации, документирование, протоколы испытаний).

Освоен легкий и портативный мотор-тестер KMT, предназначенный для диагностирования и регулирования двигателя и электрооборудования, с питанием от аккумулятора проверяемого автомобиля.

Подготовлены к мелкосерийному выпуску экспертные диагностические системы, позволяющие на основе измеренных параметров локализовать неисправность и определить остаточный ресурс узлов и агрегатов автомобиля [20].

4.10. Автоматизированный комплекс для определения углов установки колес

Известно, что плоскости вращения колес в движении отличаются от установленных в статическом состоянии. Для изучения и выбора оптимальных величин углов установки колес служит разработанная система измерения изменений плоскостей качения колес с комплексной системой записи, воспроизведения, обработки, систематизации и анализа результатов эксперимента [21].

Комплекс включает в себя электронно-оптическое устройство для измерения угловых и линейных перемещений, регистрирующую и обрабатывающую аппаратуру - преобразователи сигналов, видеоматрифон, персональный компьютер с принтером и графопостроителем.

Электронно-оптическая система при помощи рамы крепится на кузове автомобиля, а зеркала закрепляются на колесах и отраженный ими свет галогенной лампы попадает на оптико-электронный преобразователь, выходной сигнал которого пропорционален углу поворота плоскости вращения колеса.

Для регистрации результатов измерений служит видеоманитофон с аналого-цифровым преобразователем, что позволяет повысить точность. Записанные результаты обрабатываются на ЭВМ (статистический анализ, определение вида функциональных зависимостей и т.д.) для документирования и графического представления.

Комплекс опробован на автомобилях ВАЗ, ГАЗ, ЗИЛ и позволяет измерить диапазон изменений углов в динамике для выбора оптимальных начальных значений углов развала и схождения с целью уменьшения износа шин, повышения топливной экономичности, улучшения управляемости. Величины изменений углов — эффективные показатели жесткости элементов подвески и полученные в ходе измерений данные позволяют целенаправленно изменять ее характеристики на стадии разработки и изготовления.

Диапазон измерения углов и перемещений составляет $\pm 5^\circ$ и ± 100 мм, погрешность $\pm 0,042^\circ$ и $\pm 0,1$ мм соответственно, максимальное допустимое ускорение в любом направлении — 50 м/с^2 , результирующая погрешность измерения углов развала и схождения колес составляет $\pm 1\%$.

Библиографический список

1. Одиноц С.С., Лышко Г.П., Кувалакова Л.Л. Методы и средства измерения механической мощности. М.: Машиностроение, 1991.
2. Диагностика автотракторных двигателей /Под ред. Н.С.Ждановского. 2-е изд, перераб. и допол. Л.: Колос (Ленинград. отд-ние), 1977.
3. Соцков Д.А., Сальников В.И., Барашков А.А. Новый способ оценки механических потерь в ДВС /Автомобильная промышленность. № 5. 1993.
4. Витзе П.О. Многоточечные циклически разрешенные измерения в двигателе внутреннего сгорания с помощью ионизационных зондов /Испытательные приборы и стенды. 1991. № 14.
5. Кин К.С., Кин С.С. Измерение динамической ВМГ в двигателях внутреннего сгорания с использованием микроволнового измерительного преобразователя и измерительных преобразователей давления и перемещения /Испытательные приборы и стенды. 1991. № 9.
6. Рибенс В., Ризони Ж. Применение высокоточных преобразователей углового положения коленчатого вала в системах испытаний и диа-

гностики автомобильных двигателей, а также для их управления /Испытательные приборы и стенды. 1991. № 9.

7. Матвеевский Б.Р., Петросянц Е.А. По анализу масла /Автомобильная промышленность. 1992. № 10.

8. Егин Н.Л. Устройство для контроля системы смазки /Автомобильная промышленность, 1991. № 4.

9. Харазов А.М. Диагностическое обеспечение технического обслуживания и ремонта автомобилей. М.: Высш. шк., 1990.

10. Геращенко В.В., Куприянчик В.В. Системы управления испытательными стендами /Автомобильная промышленность. 1992. № 12.

11. Воробьев Ю.Г., Катасов В.С., Пустельников С.Г. и др. Контроллер микропроцессорной системы зажигания автомобильного двигателя "Электроника МС 2713" /Микропроцессорные средства и системы. 1989. № 3.

12. Воробьев Ю.Г. и др. Контроллер МС4004 /Автомобильная промышленность. 1992. № 5.

13. Фесенко М.Н., Ермаков В.В. По экстремумам характеристик ДВС /Автомобильная промышленность. 1992. № 5.

14. Галактионов А.М. и др. Отечественные АВС /Автомобильная промышленность. 1993. № 6.

15. Демидов В.В., Вишняков В.В. Диагностика автомобильной электроники сегодня и завтра /Автомобильная промышленность. 1991. № 10.

16. Вершинин Н.А. Контроллеры и диагностическое оборудование /Автомобильная промышленность. 1992. № 8.

17. Жариков М.Д., Попов Е.А. АСК блока управления 90.3761 /Автомобильная промышленность. 1992. № 1.

18. Красюк Е.М., Бреханов А.Б. Диагностика блока управления ЭПХХ /Автомобильная промышленность. 1990. № 9.

19. Митряев П.А. Универсальные стенды для обкатки АТС /Автомобильная промышленность. 1994. № 4.

20. Константинов В.Н., Братский Г.Р., Кирсанов Н.Е. Микропроцессорные мотор-тестеры /Автомобильная промышленность. 1994. № 2.

21. Мартемьянов И.В., Балабин И.В., Зацворнов В.Н. Автоматизированный комплекс для определения углов установки колес /Автомобильная промышленность. 1992. № 11.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение	3
I. Способы диагностирования автомобилей	4
I.1. Виброакустическая диагностика двигателей	4
I.2. Диагностика двигателя по среднему уровню вибраций	5
I.3. Диагностика по спектру вибраций	5
I.4. Выделение виброакустического сигнала по времени..	6
I.5. Корреляционный метод выделения диагностической информации	6
I.6. Способ оценки механических потерь в двигателях внутреннего сгорания	7
2. Способы повышения точности электронных средств диагностирования	7
2.1. Режимы двигателя при диагностировании	7
2.2. Способы диагностики цилиндро-поршневой группы ...	8
2.3. Диагностика системы топливоподачи и рабочего процесса двигателя	9
2.4. Бестормозные методы проверки двигателя в уста- новившихся режимах	10
2.5. Бестормозные методы проверки двигателя в неуста- новившихся режимах	10
2.6. Механические потери двигателя в режимах перераспределенных цилиндрических нагрузок	11
3. Стенды и устройства для лабораторных исследований параметров двигателей	12
3.1. Использование ионизационных датчиков для изу- чения процессов горения в двигателях внутреннего сгорания	12
3.2. Исследование способов измерения динамической верхней мертвой точки	14
3.3. Исследование влияния точности датчиков углового положения вала на момент вращения двигателя	18
3.4. Устройство для диагностирования смазки деталей и узлов двигателя	23
3.5. Электромагнитный датчик для регистрации метал- лических частиц в картере двигателя	24
3.6. Автоматическое устройство для регулирования нагрузки двигателя по несущей способности, температуре и давлению масла	24

3.7. Универсальный многофункциональный диагностический стенд	27
3.8. Стенды для испытания коробок передач с регулируемой ударной нагрузкой.....	29
4. Микропроцессорные системы управления и диагностики автомобиля	31
4.1. Контроллеры микропроцессорной системы зажигания автомобильного двигателя	31
4.2. Экстремальная система управления двигателем ...	36
4.3. Антиблокировочная противобуксовочная система управления для автотранспортных средств	41
4.4. Микропроцессорные системы диагностирования	42
4.5. Автотестер для диагностирования микропроцессорной системы управления двигателем	42
4.6. Автоматизированная система контроля блока управления двигателем	44
4.7. Диагностика блока управления экономайзером принудительного холостого хода	46
4.8. Универсальные стенды для обкатки и проверки грузовых автомобилей	48
4.9. Микропроцессорные мотор-тестеры	50
4.10. Автоматизированный комплекс для определения углов установки колес	52
Библиографический список	53

К ш н я:к и н Николай Анисимович,
К о н ю х о в Николай Евгеньевич

**ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
(СПОСОБЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ)**

Редактор Т.И.К у з н е ц о в а
Техн. редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор Н.С.К у п р и я н о в а

Лицензия ЛР № 020301 от 28.11.91.

Подписано в печать 15.02.96. Формат 60x84^I/16
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 3,26. Усл.кр.-отт. 3,38. Уч.-изд.л. 3,4
Тираж 100 экз. Заказ 85.

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П.Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Издательство Самарского государственного аэрокосмического
университета имени академика С.П.Королева.
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.