

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ

КИЕВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Попельш Иван Иванович

УДК 681.518.54

"РАЗРАБОТКА МЕТОДА ТЕРМОМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДВС"

Специальность 05.22.10. Эксплуатация автомобильного
транспорта

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

К и е в - 1993

76.27.21

Работа выполнена в Институте проблем материаловедения
АН Украины

Научный руководитель - кандидат технических наук, профессор
Дмитриев Николай Николаевич.

Научный консультант - доктор технических наук, доцент
Филиппов Анатолий Захарович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Гутаревич Юрий Феодосеевич,
кандидат технических наук, доцент
Салимон Владимир Ильич.

Ведущая организация: НПО "Автотранспорт"

Защита диссертации состоится "___" _____ 1993 г.
в _____ часов на заседании специализированного Совета
Д.068.09.02 при Киевском автомобильно-дорожном институте
по адресу: 252010, Киев - 10, ул. Суворова, I. ауд. 333а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Киевского автомобильно-дорожного института.

Автореферат разослан "___" _____ 1993 г.

Ученый секретарь

специализированного Совета Д.068.09.02

к.т.н., профессор

Н.Н.Дмитриев

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00814198 (V)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Общая характеристика работы.

Актуальность работы.

Темпы развития автомобильного транспорта выдвигают на первый план повышение экономических, экологических показателей двигателей, а также совершенствование технологии их технического обслуживания. Топливная экономичность двигателей, токсичность и надежность тесно взаимосвязаны между собой, в значительной мере определяются техническим состоянием двигателя и его систем.

Поддержание двигателей в работоспособном состоянии требует значительных затрат определяющихся в основном временем простоя автотранспортных средств /АТС/ из-за отказов двигателей и их систем, стоимостью необходимых для ремонта запчастей, материалов и оборудования. Перспективным направлением в снижении указанных затрат, является переход к обслуживанию по фактическому состоянию, путем разработки прогрессивных методов и средств диагностики. Применяемые в настоящее время диагностические средства, сопряжены с прямым инструментальным контролем измеряемых параметров, что сопровождается, как правило, частичным демонтажем отдельных деталей двигателя для подсоединения датчиков, или прямого демонтажа узлов и агрегатов для их контроля. Это обусловлено, в первую очередь, недостаточной изученностью и невысокой точностью определения параметров двигателя по соответствующим косвенным показателям, рациональный выбор которых позволяет повысить эффективность оценки технического состояния двигателей внутреннего сгорания ДВС.

Важнейшим фактором, характеризующим работоспособность двигателя, является температурный. Даже незначительное изменение температуры сопряженных деталей, резко увеличивает их износные характеристики, непроизводительные потери тепла. В связи с этим задача поэтапного диагностирования ДВС по его тепловому излучению является современной и актуальной, представляющей значительный теоретический и практический интерес.

Цель работы - разработка методики поэлементного диагностирования ДЭС по его тепловому излучению.

Задачи исследования:

- разработать математическую модель определения теплового излучения двигателя в зависимости от его технического состояния;
- исследовать влияние нарушения регулировочных параметров двигателя на его тепловое излучение;
- разработать методику оперативного диагностирования регулировочных параметров систем двигателя по его тепловому излучению.

Практическая ценность состоит в возможности на основе разработанного метода проводить оперативный и достоверный контроль технического состояния ДЭС без применения стационарной аппаратуры.

Реализация работы - результаты исследований внедрены на спецтранспорте Бориспольского авиаотряда /БОО/, а также в АТП 13034 г.Киева.

Апробация работы - основные результаты исследований были доложены и обсуждены на:

1. Межотраслевом научно-техническом семинаре "Исследование двигателей сельскохозяйственных машин в динамических режимах" в 1983 г. г.Казань.

2. Республиканской конференции "Бесконтактная тепловая диагностика машин и материалов", 1987 г., г.Киев.

3. Научных конференциях профессорско-преподавательского состава, КИИГА /1984-85 г.г./, КАДИ /1990-1992 г.г./.

Публикации - по материалам диссертации опубликовано 7 статей и получено одно авторское свидетельство.

Объем работы - диссертация состоит из четырех глав, общих выводов, приложений, списка литературы.

Основной текст изложен на машинописных страницах, количество 170, рис. 56, таблиц 9.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Первая глава. Посвящена анализу существующих методов и средств диагностирования двигателей внутреннего сгорания /ДВС/. Показаны задачи технической диагностики, методы их решения, раскрыт вклад в развитие диагностики видных ученых в этой области как Авдоникина Ф.Н., Мирошникова Л.В., Канарчука В.Е., Едановского Н.С. и др. Обзор литературных источников по технической диагностике показал, что применяемые в настоящее время диагностические методы и средства позволяют определять мощностные, экономические показатели двигателей, отклонение регулировочных параметров от оптимального положения, износ сопряженных деталей с разной степенью точности, достоверности, затратами времени и средств. Существующая система технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств /АТС/ не позволяет в полной мере использовать ресурс конкретного двигателя из-за несовершенства контрольных работ по обнаружению и устранению неисправностей, что связано в свою очередь в основном с применением простых и доступных методов диагностирования ДВС отличающихся невысокой точностью. Использование же более точных средств диагностирования ограничивается их высокой стоимостью, большими затратами времени на сам процесс.

В этой связи необходимо выделить те методы и средства, которые позволяют на основании оперативных измерений наиболее общих и в тоже время точных диагностических параметров дать обоснованное заключение о техническом состоянии двигателей и его систем. К таким параметрам относится температура.

Многочисленными исследованиями установлено решающее воздействие температурного фактора на надежность двигателей в целом и существенное воздействие на износные характеристики. Принятая схема температурного контроля на автомобильных двигателях /температура охлаждающей жидкости и масла/ не позволяет определять локальные места

перегрева. Для расширения оперативного температурного контроля необходимо использовать дополнительные средства для измерения температуры. При этом наиболее приемлимым из них являются бесконтактные измерители температуры, одним из которых является инфракрасные радиометры.

Во второй главе приведена математическая модель по определению теплового излучения двигателя, в которой тепловое излучение двигателя есть функция переменных, определяющих его техническое состояние, т.е.

$$R_T = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

В общем виде эта функциональная зависимость представлена в виде нелинейного уравнения в частных производных

$$\frac{\partial^2 R}{\partial X_1^2} + \frac{\partial^2 R}{\partial X_2^2} + \dots + \frac{\partial^2 R}{\partial X_n^2} = 0 \quad /1/$$

где X_1, X_2, \dots, X_n - структурные параметры систем зажигания топливоподачи и др.

R - тепловое излучение.

Аналитическое решение уравнения /1/ связано с известными трудностями и может быть упрощено применением методов теории подобия.

Анализ уравнения /1/ указанными методами для двух сходственных состояний двигателя представляется в виде

$$\frac{\partial^2 R'}{\partial X_1'^2} + \frac{\partial^2 R'}{\partial X_2'^2} + \dots + \frac{\partial^2 R'}{\partial X_n'^2} = 0 \quad /2/$$

$$\frac{\partial^2 R''}{\partial X_1''^2} + \frac{\partial^2 R''}{\partial X_2''^2} + \dots + \frac{\partial^2 R''}{\partial X_n''^2} = 0 \quad /3/$$

Так как по условиям состояния они подобны, то следует, что

$$\frac{X_1''}{X_1'} = \Pi_{X_1}; \quad \frac{X_2''}{X_2'} = \Pi_{X_2}; \quad \frac{X_n''}{X_n'} = \Pi_{X_n}; \quad \frac{R''}{R'} = \Pi_R \quad /4/$$

На основании /4/, все переменные уравнения /3/ могут быть представлены через переменные уравнения /2/

$$X_1'' = X_1' \cdot \Pi_{X_1}; X_2'' = X_2' \cdot \Pi_{X_2}; X_n'' = X_n' \cdot \Pi_{X_n}; R'' = R' \cdot \Pi_R \quad / / \quad /5/$$

Подставляя из 5/ в 3/ получим

$$\frac{\partial^2 (R' \cdot \Pi_R)}{\partial (X_1' \cdot \Pi_{X_1})^2} + \frac{\partial^2 (R' \cdot \Pi_R)}{\partial (X_2' \cdot \Pi_{X_2})^2} + \dots + \frac{\partial^2 (R' \cdot \Pi_R)}{\partial (X_n' \cdot \Pi_{X_n})^2} = 0 \quad /6/$$

т.е.
$$\Pi_R = f(\Pi_{X_1}, \Pi_{X_2}, \dots, \Pi_{X_n}) \quad /7/$$

Функциональная зависимость Π' в теории подобия может быть представлена в виде

$$\Pi_R = A \Pi_{X_1}^{K_1} \cdot \Pi_{X_2}^{K_2} \cdot \dots \cdot \Pi_{X_n}^{K_n} \quad /8/$$

где A, K_1, K_2, \dots, K_n - опытные коэффициенты, определяемые по результатам аналитических расчетов или экспериментов;

$\Pi_{X_1}, \Pi_{X_2}, \Pi_{X_n}$ - симплексы основных переменных двигателя, определяющих его техническое состояние;

$$\Pi_{X_1} = \frac{X_{1i}}{X_{1H}}; \Pi_{X_2} = \frac{X_{2i}}{X_{2H}}; \dots \Pi_{X_n} = \frac{X_{ni}}{X_{nH}}$$

где X_{ni} - текущее значение переменной;

X_{nH} - значение переменной рекомендованное заводом-изготовителем, среднее, оптимальное и т.д.

В большинстве случаев, характер изменения теплового излучения двигателя имеет нелинейную зависимость, поэтому показатель степени /K/ в уравнении /8/ можно представить в виде

$$K_n = B_n \cdot \Pi_{X_n} + D_n \quad /9/$$

С учетом /9/ уравнение /8/ запишем в виде

$$\Pi_R = A \Pi_{X_1}^{B_1 \Pi_{X_1} + D_1} \cdot \Pi_{X_2}^{B_2 \Pi_{X_2} + D_2} \cdot \dots \cdot \Pi_{X_n}^{B_n \Pi_{X_n} + D_n} \quad /10/$$

На основании /4/ заменим в /10/ симплекс теплового потока Π_R на его физическое значение, а коэффициент /A/ на значение тепло-

вого потока полученного при оптимальной величине исследуемых факторов, т.е. уравнение ΔO / будет иметь вид

$$R_T = R_n \prod_{x_1}^{B_1 \Pi_{x_1} + D_1} x \prod_{x_2}^{B_2 \Pi_{x_2} + D_2} x \dots x \prod_{x_n}^{B_n \Pi_{x_n} + D_n} \quad /II/$$

Уравнение ΔI / является базовым для расчетов тепловых показателей двигателей.

В третьей главе рассмотрены методика экспериментальных исследований предложенного способа диагностирования, методика расчета коэффициентов модели ΔI / и проверка ее адекватности, принципиальная схема инфракрасного радиометра, его техническая характеристика.

Для исследований использовались дизели типа ЯМЗ-236, ЯМЗ-238, Икарус, КАМАЗ-740, карбюраторные двигатели УД-1, ГАЗ-24, ЗМЗ-53.

На дизелях исследовалось влияние нарушения регулировочных параметров топливной аппаратуры, мощностных и экономических показателей, а на карбюраторных - влияние на тепловой поток системы зажигания и топливоподачи.

По топливной аппаратуре дизелей вводились следующие нарушения регулировок: угол опережения впрыскивания изменялся в пределах $/4, \dots 36/^\circ$ п.к.в., цикловая подача - $/55 \dots 165/$ мм³/цикл, давление затяжки пружины топливной форсунки - $/10 \dots 20/$ МПа, частота вращения коленчатого вала - $/500 \dots 1600/$ мин⁻¹, крутящий момент - $/0 \dots 490/$ НМ.

По системе зажигания: угол опережения зажигания изменялся в пределах $/0 \dots 12/^\circ$ п.к.в., зазор между контактами прерывателя - $/0,1 \dots 0,7/$ мм, зазор между электродами свечи зажигания - $/0,3 \dots 1,2/$ мм, частота вращения коленчатого вала - $/600 \dots 2800/$ мин.⁻¹ По системе топливоподачи: диаметр топливного жиклера карбюратора изменялся в пределах $/0,65 \dots 0,95/$ мм, уровень топлива в поплавковой камере изменялся от оптимального положения до максимального верхнего уровня. Четырехфакторный эксперимент по топливной аппаратуре реализован на дизеле ЯМЗ-236, по системе зажигания - на двигателе УД-1.

Для определения зависимости теплового потока от развиваемой мощности и расхода топлива дизелей ЯМЗ-238, КАМАЗ-740 снималась нагрузочная характеристика для ряда частот вращения коленчатого вала.

Четырехфакторная модель для дизеля ЯМЗ-238 имеет вид

$$R = R_H \Pi_{\varphi}^{B_1 \Pi_{\varphi} + D_1} \times \Pi_{\theta}^{B_2 \Pi_{\theta} + D_2} \times \Pi_{p}^{B_3 \Pi_p + D_3} \times \Pi_{n}^{B_4 \Pi_n + D_4} \quad /12/$$

$$\Pi_{\varphi} = \frac{\varphi_i}{\varphi_H}; \quad \Pi_{\theta} = \frac{\theta_i}{\theta_H}; \quad \Pi_p = \frac{p_i}{p_H}; \quad \Pi_n = \frac{n_i}{n_H}$$

где $\Pi_{\varphi}, \Pi_{\theta}, \Pi_p, \Pi_n$ - симплексы угла опережения впрыскивания топлива, цикловой подачи, давления затяжки пружины форсунки, частоты вращения коленчатого вала соответственно.

R - тепловой поток, измеряемый при минимальном и максимальном значении соответствующего симплекса.

R_H - тепловой поток, измеряемый при оптимальном значении симплексов.

Четырехфакторная модель для двигателя УД-1 имеет вид

$$R = R_H \Pi_{\alpha}^{B_1 \Pi_{\alpha} + D_1} \times \Pi_{\Delta_{np}}^{B_2 \Pi_{\Delta} + D_2} \times \Pi_{\Delta_{св}}^{B_3 \Pi_{\Delta} + D_3} \times \Pi_n^{B_4 \Pi_n + D_4} \quad /13/$$

где $\Pi_{\alpha}, \Pi_{\Delta_{np}}, \Pi_{\Delta_{св}}, \Pi_n$ - симплексы угла опережения зажигания, зазора между контактами прерывателя, зазора между электродами свечи зажигания, частоты вращения коленчатого вала.

Двухфакторная модель по зависимости теплового потока от развиваемой мощности дизеля ЯМЗ-238, имеет вид

$$R = R_H \Pi_{\text{Мер}}^{B_1 \Pi_{\text{Мер}} + D_1} \times \Pi_n^{B_2 \Pi_n + D_2} \quad /14/$$

где Π_{Mkp}, Π_n - симплексы крутящего момента и частоты вращения.

Для расчета коэффициентов B_n, D_n используется система уравнений

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= L_n R_H + (B_1 \Pi_{x_{1-}} + D_1) \cdot L_n \Pi_{x_{1-}} \\ R_2 &= L_n R_H + (B_1 \Pi_{x_{1+}} + D_1) L_n \Pi_{x_{1+}} \\ &\dots \dots \dots \\ R_{n-1} &= L_n R_H + (B_n \Pi_{x_{n-}} + D_n) L_n \Pi_{x_{n-}} \\ R_n &= L_n R_H + (B_n \Pi_{x_{n+}} + D_n) L_n \Pi_{x_{n+}} \end{aligned} \right\} /16/$$

где $\Pi_{x_{n-}} = \frac{\chi_{n-}}{\chi_{nH}} ; \quad \Pi_{x_{n+}} = \frac{\chi_{n+}}{\chi_{nH}}$

χ_{n-}, χ_{n+} - минимальное и максимальное значение структурного параметра.

Подставляя значения R_1, R_n из таблиц матриц экспериментов^{I,2} рассчитываются величины коэффициентов $B_1 \dots B_n, D_1 \dots D_n$. В окончательном виде уравнения^{12, 13, 14} имеют вид

$$R = 0,17 \Pi_{\varphi} \begin{matrix} 0,289 \cdot \Pi_{\varphi} - 0,393 & 1,082 \Pi_{\alpha} + 0,193 & -0,242 \Pi_{\rho} + 0,489 \\ \cdot \Pi_{\alpha} & \cdot \Pi_{\rho} & \cdot \end{matrix} \cdot \Pi_n \begin{matrix} 1,097 \Pi_n + 0,177 \\ \end{matrix} \quad /17/$$

$$R = 0,36 \Pi_{\alpha} \begin{matrix} -0,022 \Pi_{\alpha} - 0,314 & -0,033 \Pi_{\Delta} - 0,153 & -0,023 \Pi_{\Delta} - 0,0949 \\ \cdot \Pi_{\Delta \rho} & \cdot \Pi_{\Delta \sigma} & \cdot \end{matrix} \cdot \Pi_n \begin{matrix} 0,757 \Pi_n - 0,072 \\ \end{matrix} \quad /18/$$

$$R = 0,19 \Pi_{Mkp} \begin{matrix} 0,544 \Pi_M + 0,124 & -0,11 \Pi_n + 0,656 \\ \cdot \Pi_n & \cdot \end{matrix} \quad /19/$$

Матрица экспериментальных данных УД1.

Таблица 1

N	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	R ₃	R _p	N	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	R ₃	R _p
1	-	-	-	-	0,55	0,53	14	+	-	+	+	0,77	0,78
2	+	-	-	-	0,49	0,51	15	-	+	+	+	0,56	0,57
3	-	+	-	-	0,36	0,37	16	+	+	+	+	0,5	0,49
4	+	+	-	-	0,3	0,32	17	-	0	0	0	0,4	0,4
5	-	-	+	-	0,51	0,49	18	+	0	0	0	0,36	0,36
6	+	-	+	-	0,43	0,44	19	0	-	0	0	0,48	0,48
7	-	+	+	-	0,32	0,3	20	0	+	0	0	0,31	0,31
8	+	+	+	+	0,3	0,28	21	0	0	-	0	0,35	0,35
9	-	-	-	+	0,96	0,99	22	0	0	0	0	0,31	0,31
10	+	-	-	+	0,87	0,89	23	0	0	0	-	0,27	0,27
11	-	+	-	+	0,64	0,62	24	0	0	0	+	0,48	0,48
12	+	+	-	+	0,58	0,57	25	0	0	0	0	0,36	0,36
13	-	-	+	+	0,88	0,87	26	0	0	0	0	0,36	0,36

Матрица экспериментальных данных ЯМЗ-236

Таблица 2

N	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	R ₃	R _p	N	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	R ₃	R _p
1	-	-	-	-	0,1	0,13	14	+	-	+	+	0,257	0,26
2	+	-	-	-	0,085	0,09	15	-	+	+	+	0,95	0,95
3	-	+	-	-	0,273	0,3	16	+	+	+	+	0,55	0,59
4	+	+	-	-	0,22	0,2	17	-	0	0	0	0,265	0,265
5	-	-	+	-	0,09	0,11	18	+	0	0	0	0,191	0,191
6	+	-	+	-	0,085	0,075	19	0	-	0	0	0,132	0,132
7	-	+	+	-	0,225	0,25	20	0	+	0	0	0,31	0,31
8	+	+	+	-	0,168	0,16	21	0	0	-	0	0,168	0,168
9	-	-	-	+	0,51	0,516	22	0	0	+	0	0,145	0,145
10	+	-	-	+	0,34	0,324	23	0	0	0	-	0,1	0,1
11	-	+	-	+	1,16	1,17	24	0	0	0	+	0,37	0,37
12	+	+	-	+	0,745	0,735	25	0	0	0	0	0,17	0,17
13	-	-	+	+	0,335	0,417	26	0	0	0	0	0,17	0,17

Проверка адекватности полученных моделей, проведенная по общепринятой методике, показала их соответствие экспериментальным данным. Анализ проведенных ранее исследований по влиянию технического состояния ДВС на его температурное состояние, экспериментальные исследования ДВС с применением тепловизоров показали, что наиболее информативными в диагностическом отношении на работающем двигателе являются такие участки как: выпускные патрубки цилиндров, свеча зажигания, топливные форсунки. На основании данных исследований тепловой поток измеряется с поверхности выпускных патрубков цилиндров в местах указанных на рис. 1. Для измерения теплового потока использовался разработанный и изготовленный для этой цели инфракрасный радиометр, блок-схема которого приведена на рис. 2.

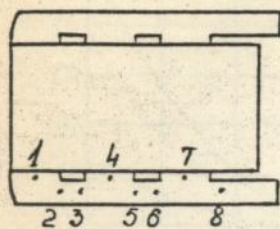
Основные технические характеристики следующие:

- диапазон измеряемых температур, °С	- /40+500/
- расстояние до объекта измерения, м	- /0,5+15/
- угол визирования, угловые минуты	- 30'
- питание прибора, В, Гц	- 220 в, 50 Гц или автономное 9 в.
- погрешность измерения, %	- 5
- масса прибора, кг	- /1+ 2/

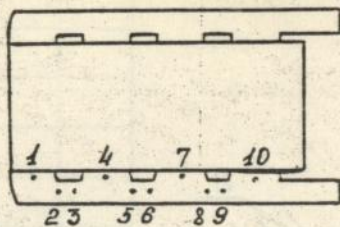
В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований. На рис.3 и 4 приведены зависимости теплового потока с поверхности выпускного коллектора двигателя УД-1 при нарушении регулировочных параметров системы зажигания. Уменьшение регулировочных параметров от их оптимального положения

($\alpha_{от.} = 6^\circ \text{ п.к.в.}$, $\Delta \text{пр} = 0,3 \text{ мм.}$, $\Delta \text{св} = 0,05 \text{ мм.}$)

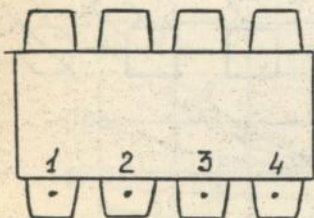
приводит к росту теплового излучения двигателя, особенно заметно на высокой частоте вращения коленчатого вала. Увеличение - к незначительному снижению теплового излучения или увеличению, рис. 3 зависимости^{5,6} рис.4а, зависимости I-4.



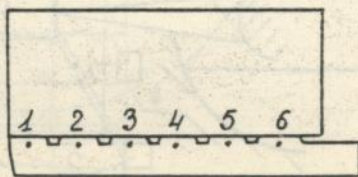
Я.Б - 236



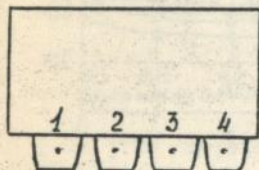
Я.Б - 239



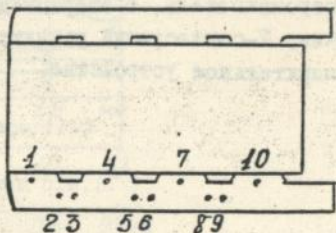
КАМАЗ - 740



"Акарус"



ГАЗ - 24



З.Б - 53

Рис. I Объекты исследования и места измерения
теплового потока

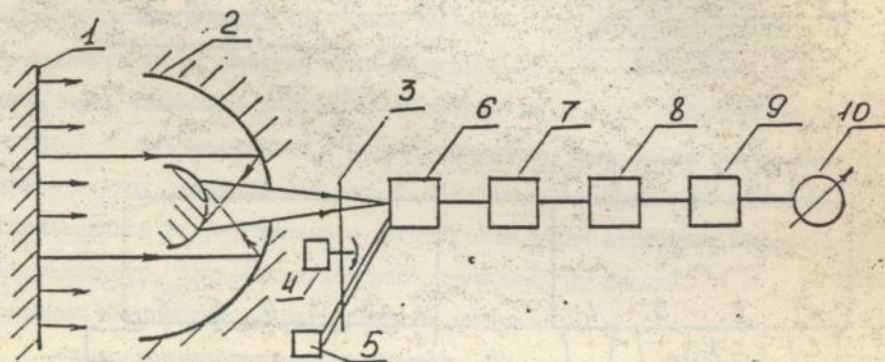


Рис 9. Блок-схема ИКР.

1—объект излучения, 2—оптическая система, 3—модулятор,
 4—электродвигатель, 5—опорный источник ИК излучения,
 6—датчик, 7—согласующий усилитель, 8—фильтр, 9—детектор,
 10—измерительное устройство.

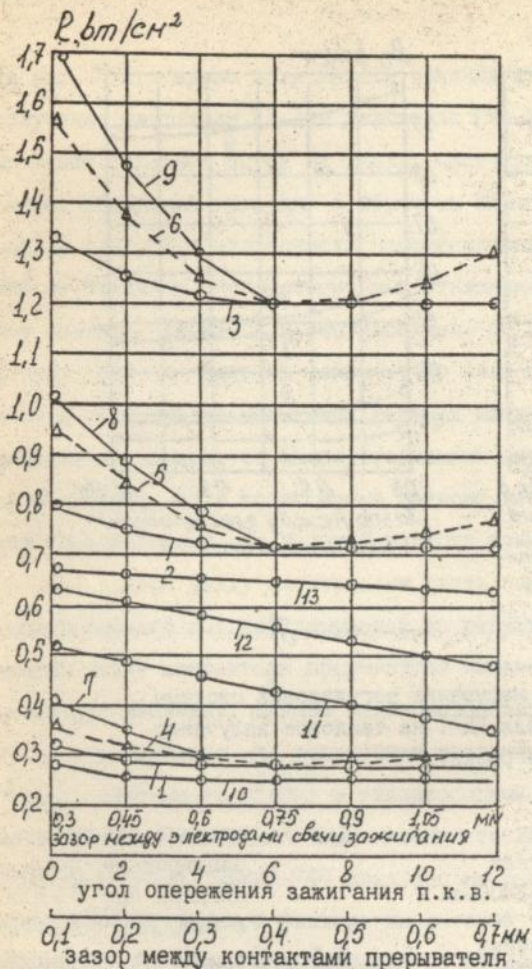


Рис. 3 Влияние нарушения регулировок системы зажигания двигателя УД-1 на тепловое излучение.

1, 2, 3 - влияние угла опережения зажигания при частоте вращения $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$; $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$; $n = 2800 \text{ мин}^{-1}$

4, 5, 6 - влияние зазора между контактами прерывателя при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$; $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$; $n = 2800 \text{ мин}^{-1}$

7, 8, 9 - совместное влияние $\Delta \alpha$, Δn_p , $\Delta \delta_{св}$ на тепловой поток при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$; $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$; $n = 2800 \text{ мин}^{-1}$

10, 11, 12, 13 - влияние зазора между электродами свечи зажигания при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$; $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$; $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$; $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$

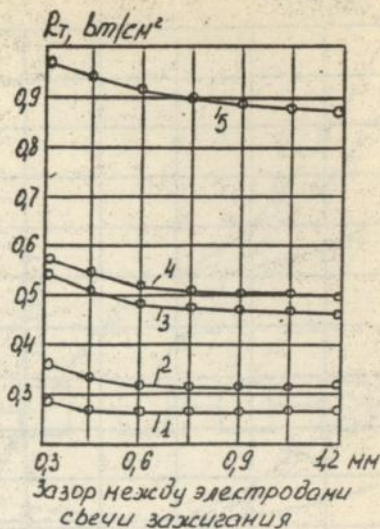
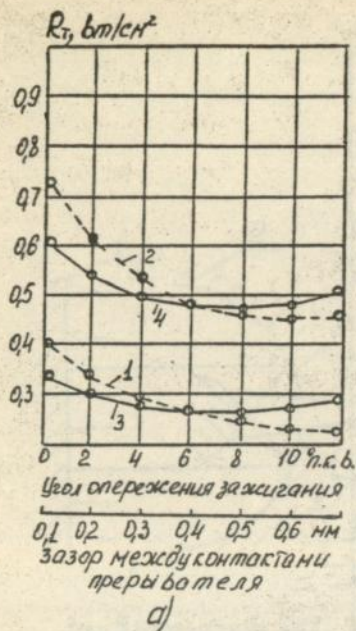


Рис. 4 Влияние нарушения регулировок системы зажигания двигателя УД-1 на тепловое излучение при работе без нагрузки.

1, 2 - влияние зазора между контактами прерывателя при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$; $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$

3, 4 - влияние угла опережения зажигания при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$; $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$

1, 2, 3 - влияние зазора между электродами свечи зажигания при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$; $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$; $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$

4, 5 - совместное влияние $\alpha_{\text{заж}}$, $\Delta r_p, \Delta r_{\text{об}}$ при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$; $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$

На рис. 5 приведены зависимости влияния качества смеси на тепловое излучение двигателя УД-1 и двигателя ГАЗ-24. Обогащение смеси увеличивает тепловой поток на низких частотах вращения и снижает на высоких, обеднение приводит к обратным зависимостям. Эксперименты показали следующие особенности изменения теплового излучения двигателей от величины эксплуатационных отклонений регулировочных параметров системы зажигания и топливоподачи от оптимального положения. На низкой частоте вращения коленчатого вала при работе двигателя на холостом ходе или на невысоких режимах нагружения тепловой поток практически не зависит от эксплуатационных нарушений регулировок системы зажигания, но в то же время зависит весьма существенно от нарушения топливоподачи. На высокой частоте вращения коленчатого вала изменение зазора между электродами свечи зажигания не изменяет величине теплового потока, нарушение же регулировок угла опережения и зазора между контактами прерывателя изменяет тепловой поток на значительную величину. Данные закономерности изменения теплового излучения используются для разработки методики поэлементного диагностирования системы зажигания и топливоподачи бензиновых двигателей. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на тепловое излучение дизелей ЯМЗ-236, КАМАЗ-740 показано на рис. 6, 7. Наиболее существенно влияние данного фактора на высокой частоте вращения, уменьшение угла опережения впрыскивания от оптимального значения /20° п.к.в./ увеличивает тепловой поток, увеличение приводит к незначительному снижению на низкой частоте вращения, или к незначительному росту на высокой.

Часовой расход топлива увеличивается при уменьшении угла опережения впрыскивания, рис. 7б. При снижении частоты вращения коленчатого вала влияние угла опережения впрыскивания снижается. Подача топлива по цилиндрам двигателя оказывает наиболее существенное влияние на тепловой поток, особенно на высоких частотах вращения. Зависимости

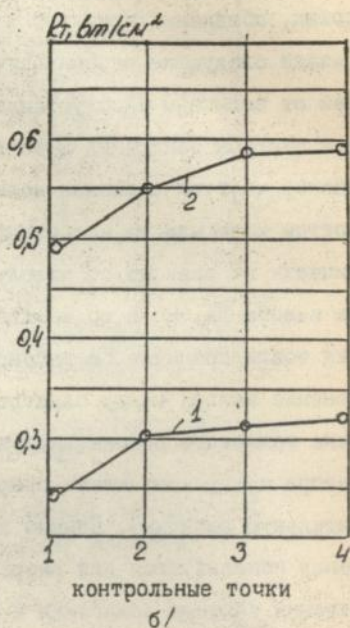
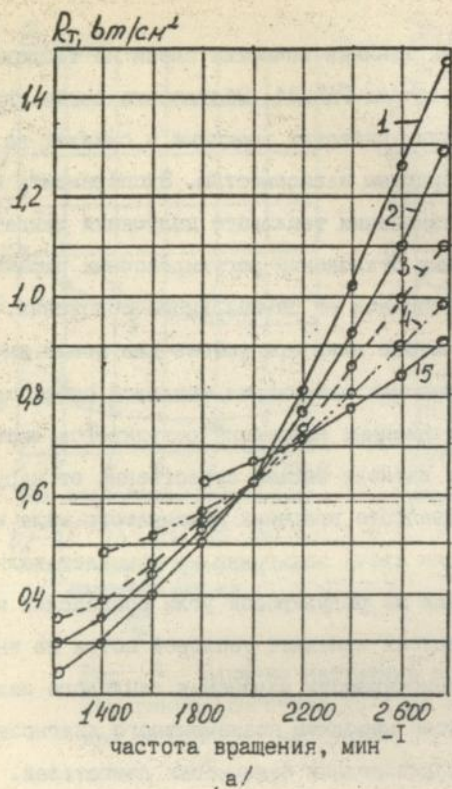


Рис. 5 Влияние диаметра топливного жиклера карбюратора двигателя УД-1(а), уровня топлива в поплавковой камере двигателя ГАЗ-24 (б), на тепловое излучение.

1. $\phi = 0,65 \text{ мм}$. 2. $\phi = 0,75 \text{ мм}$.
 3. $\phi = 0,8 \text{ мм}$. 4. $\phi = 0,9 \text{ мм}$.
 5. $\phi = 0,95 \text{ мм}$.

$$n = 550 \text{ мин}^{-1}; M_{кр} = 160 \text{ нм}.$$

- 1 - оптимальный уровень топлива.
 2 - уровень топлива выше оптимального.

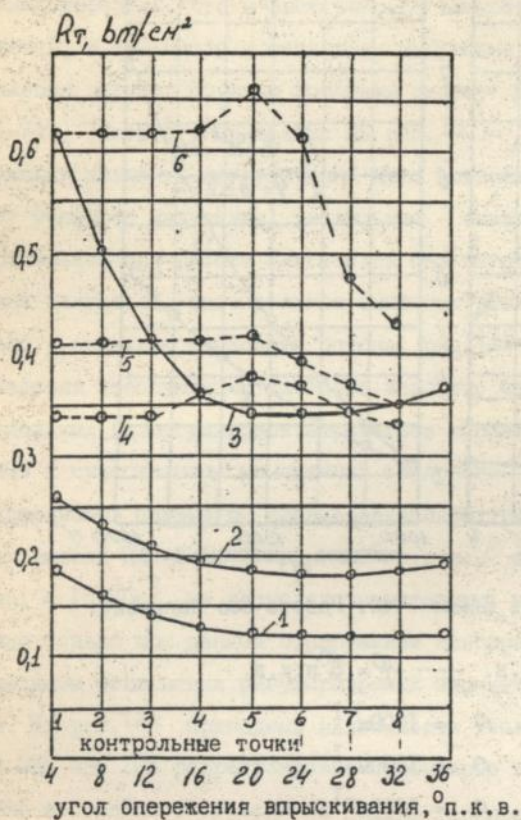


Рис. 6 Влияние угла опережения впрыскивания топлива на тепловой поток ЯМЗ-236.

1 - $n = 500 \text{ мин}^{-1}$; 2 - $n = 1050 \text{ мин}^{-1}$; 3 - $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$

4, 5, 6 - распределение q_T по длине выпускного трубопровода при $\alpha_{\text{впр.}} = 36^\circ \text{ п.к.в.}$, $\alpha_{\text{впр.}} = 20^\circ \text{ п.к.в.}$, $\alpha_{\text{впр.}} = 4^\circ \text{ п.к.в.}$ соответственно, $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$

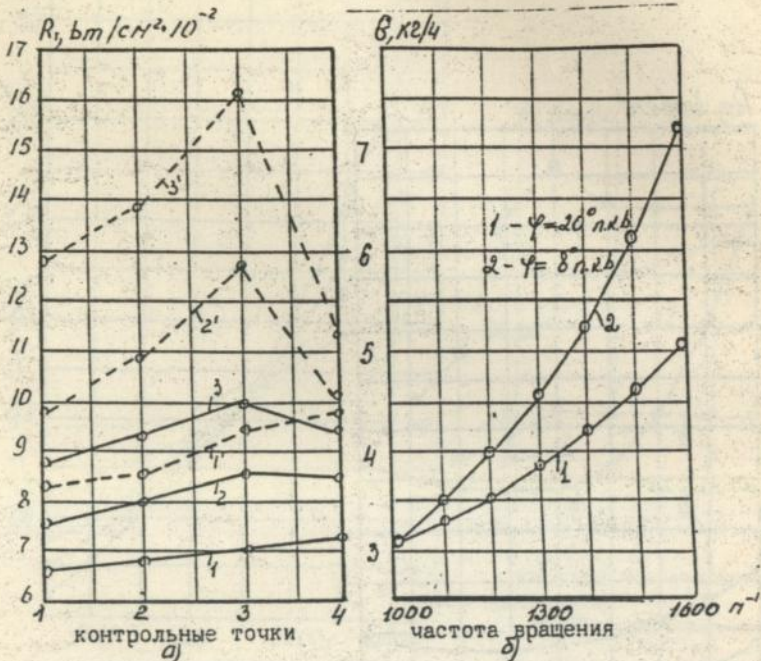


Рис. 7 Дизель КАМАЗ -740. Работа без нагрузки.

— $\varphi = 20^\circ$ п.к.в. --- $\varphi = 8^\circ$ п.к.в.

1, 1 - $n = 1000 \text{ м}^{-1}$

2, 2 - $n = 1300 \text{ м}^{-1}$

3, 3 - $n = 1600 \text{ м}^{-1}$

влияния подачи топлива по цилиндрам дизелей ЯМЗ-236, "Икарус" приведена на рис. 8,9 .

Топливные форсунки дизелей наиболее часто подвержены появлению различных дефектов, что в свою очередь влечет изменение характеристик дизелей, в том числе и теплового излучения, зависимость которого от давления затяжки пружины форсунки дизелей ЯМЗ-236, ЯМЗ-238, КАМАЗ-740, "Икарус", приведена на рис. 10 .

Снижение давления впрыскивания ниже оптимального значения увеличивает тепловое излучение, увеличение - снижает. Такая закономерность проявляется при работе двигателей без нагрузки, рис. 10а-г При нагружении двигателя, значительное снижение давления впрыскивания также ведет к снижению теплового потока, рис. 11в /зависимость^{4,5,6} /.

В условиях эксплуатации наиболее вероятно одновременное появление нескольких разрегулировок параметров топливной аппаратуры, что приводит к существенным изменениям теплового потока, рис. 11 ..

Поддерживать параметры топливной аппаратуры на оптимальной величине /для дизеля ЯМЗ-236, φ впр. = 20° п.к.в. θ цикл. = 110 мм³ /цикл, Рвпр. = 15 МПа/, не допуская значительных нарушений регулировок, можно только при раннем обнаружении неисправностей, т.е. при незначительном отклонении регулировочных параметров от исходного положения. На рис. 12а приведены зависимости теплового излучения дизеля ЯМЗ-236 при 10% разрегулировке параметров топливной аппаратуры. Как видно из графиков отклонение подачи топлива изменяет тепловой поток на всех режимах работы двигателя, угол опережения впрыскивания топлива на средних и более высоких частотах вращения коленчатого вала, на низкой частоте вращения незначительное. Давление затяжки пружины форсунки изменяет тепловой поток при высокой частоте вращения коленчатого вала и нагружении двигателя, и на всех частотах вращения при работе на холостом ходе. Данные закономерности изменения теплового потока используются при разработке методики элементарного

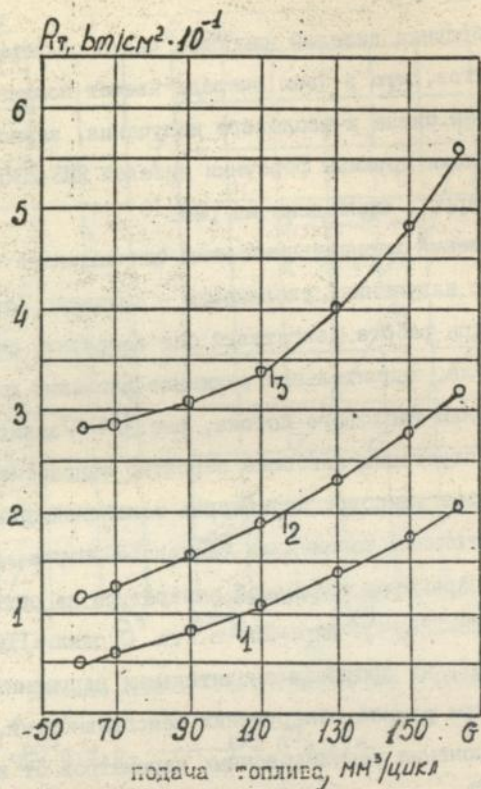


Рис. 8 Влияние подачи топлива на тепловое излучение дизеля ЯМЗ-235

1- $n = 500 \text{ мин}^{-1}$; 2- $n = 1050 \text{ мин}^{-1}$; 3- $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$

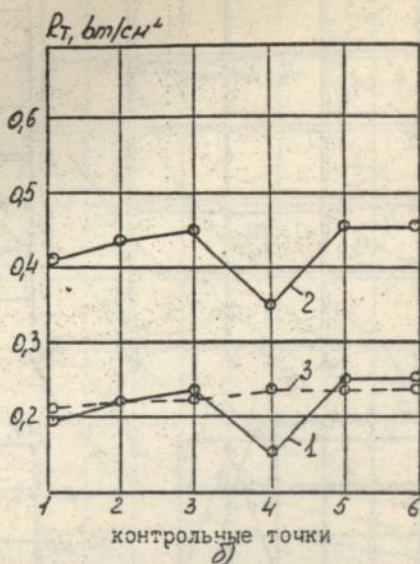
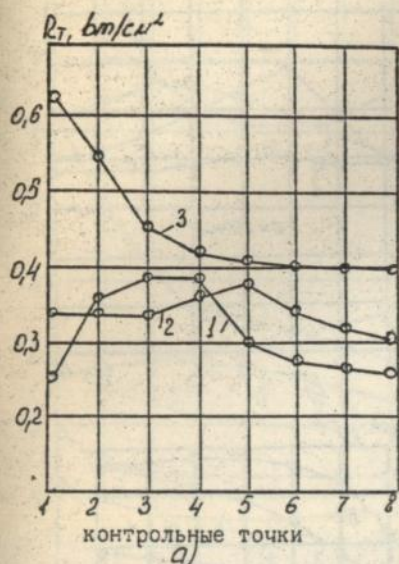


Рис. 9 Распределение теплового потока по длине выпускного трубопровода при изменении подачи топлива в цилиндре №4 дизеля ЯМЗ-236 (а), и в цилиндре №4 дизеля "Якарус" (б).

$$n = 1600 \text{ мин}^{-1}.$$

$$1. - \vartheta = 55 \text{ мм}^3 / \text{цикл}.$$

$$2. - \vartheta = 110 \text{ мм}^3 / \text{цикл}.$$

$$3. - \vartheta = 165 \text{ мм}^3 / \text{цикл}.$$

$$1. n = 1300 \text{ мин}^{-1}; M_{кр} = 150 \text{ нм}.$$

$$2. n = 1300 \text{ мин}^{-1}; M_{кр} = 310 \text{ нм}.$$

3.-оптимальная подача топлива.

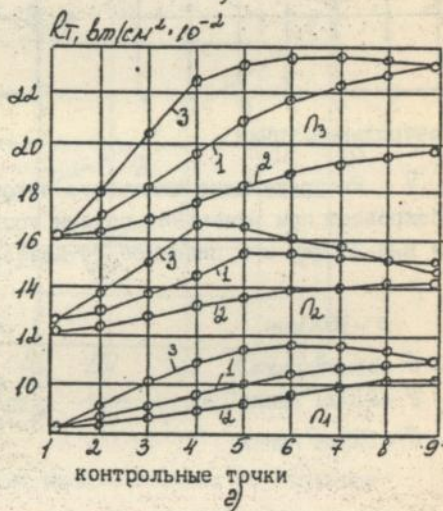
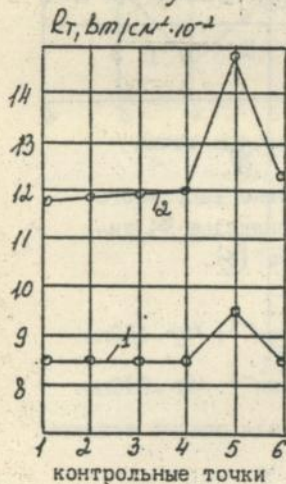
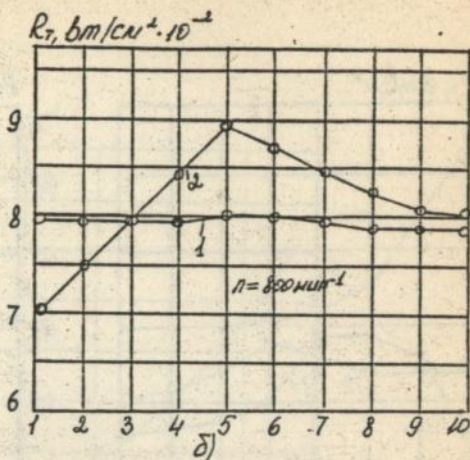
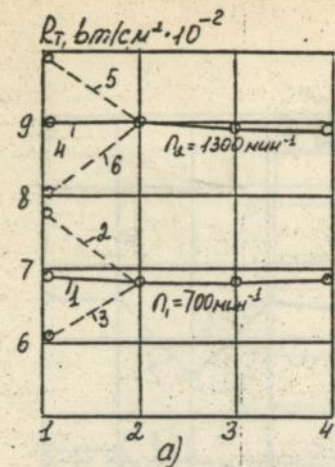


Рис. 10 Влияние изменения давления впрыскивания топлива форсункой: а/- в цил.№1 дизеля КАМАЗ-740, б/- в цил.№1 и №2 дизеля ЯМЗ-238, в/- в цил.№5 дизеля "Икарус", г/- в цил.№5 дизеля ЯМЗ-236, на тепловое излучение, при работе без нагрузки.

а/

1,4 - $P=20 \text{ МПа}$; 3,6 - $P=23 \text{ МПа}$:

2,5 - $P=17,5 \text{ МПа}$

в/

1 - $P=17 \text{ МПа}$; $n_1=500 \text{ мин}^{-1}$; $n_2=1000 \text{ мин}^{-1}$

б/ 2 - $P=20 \text{ МПа}$ в цил.№1 и $P=16 \text{ МПа}$ в цил.№2.

г/ 1 - $P=15 \text{ МПа}$; 2 - $P=20 \text{ МПа}$:

3 - $P=10 \text{ МПа}$.

$n_4=500 \text{ мин}^{-1}$; $n_2=1050 \text{ мин}^{-1}$;

$n_3=1600 \text{ мин}^{-1}$ - I

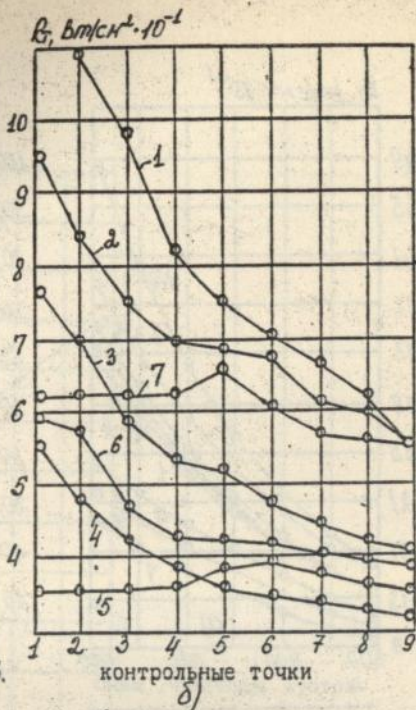
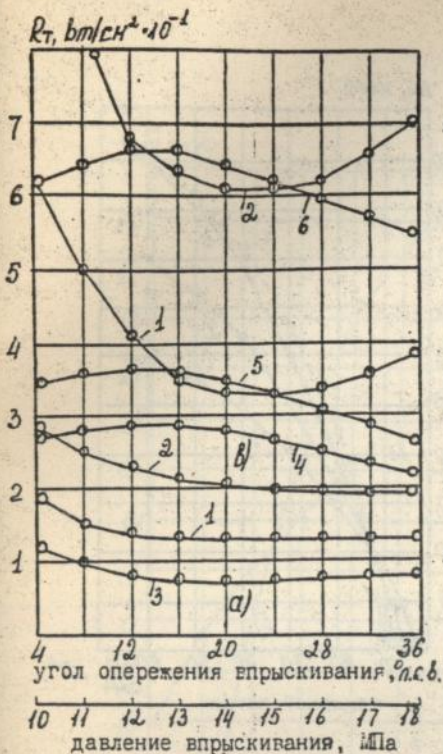


Рис. II Комплексное влияние нарушений регулировок топливной аппаратуры на тепловое излучение дизеля ЯМЗ-236.

а/, $n = 500 \text{ мин}^{-1}$

1, 2, 3 - влияние $\varphi_{\text{впр}}$ на q_T при
 $\varphi_{\text{в}} = 110 \text{ мм}^3/\text{цикл}$; $\varphi_{\text{с}} = 165 \text{ мм}^3/\text{цикл}$,
 $\varphi_{\text{с}} = 55 \text{ мм}^3/\text{цикл}$.

в/, $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$

1, 2 - влияние $\varphi_{\text{впр}}$ на q_T при
 $\varphi_{\text{в}} = 110 \text{ мм}^3/\text{цикл}$; $\varphi_{\text{с}} = 165 \text{ мм}^3/\text{цикл}$.

4, 5, 6 - влияние $\varphi_{\text{впр}}$ на q_T при
 $\varphi_{\text{в}} = 55 \text{ мм}^3/\text{цикл}$; $\varphi_{\text{с}} = 110 \text{ мм}^3/\text{цикл}$,
 $\varphi_{\text{с}} = 165 \text{ мм}^3/\text{цикл}$.

б/, $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$

1. $\varphi = 4^\circ \text{ п.к.в.}$; $\varphi_{\text{с}} = 165 \text{ мм}^3/\text{цикл}$; $P = 10 \text{ МПа}$
 27. $\varphi = 4^\circ \text{ п.к.в.}$; $\varphi_{\text{с}} = 165 \text{ мм}^3/\text{цикл}$; $P = 20 \text{ МПа}$
 3. $\varphi = 36^\circ \text{ п.к.в.}$; $\varphi_{\text{с}} = 165 \text{ мм}^3/\text{цикл}$; $P = 10 \text{ МПа}$
 4. $\varphi = 36^\circ \text{ п.к.в.}$; $\varphi_{\text{с}} = 165 \text{ мм}^3/\text{цикл}$; $P = 20 \text{ МПа}$
 5. $\varphi = 20^\circ \text{ п.к.в.}$; $\varphi_{\text{с}} = 110 \text{ мм}^3/\text{цикл}$; $P = 15 \text{ МПа}$
 6. $\varphi = 20^\circ \text{ п.к.в.}$; $\varphi_{\text{с}} = 165 \text{ мм}^3/\text{цикл}$; $P = 15 \text{ МПа}$
 7. $\varphi = 4^\circ \text{ п.к.в.}$; $\varphi_{\text{с}} = 110 \text{ мм}^3/\text{цикл}$; $P = 15 \text{ МПа}$

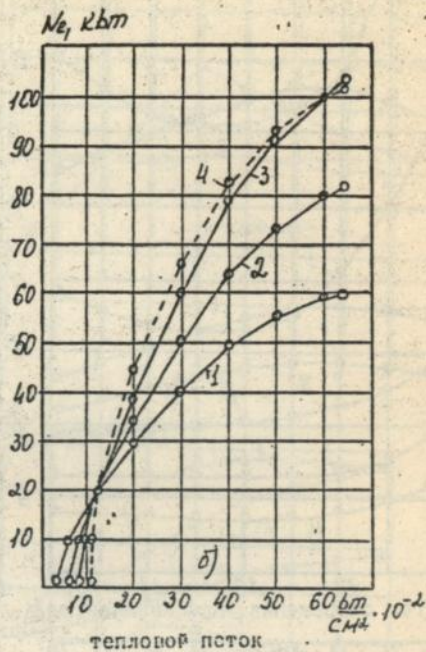
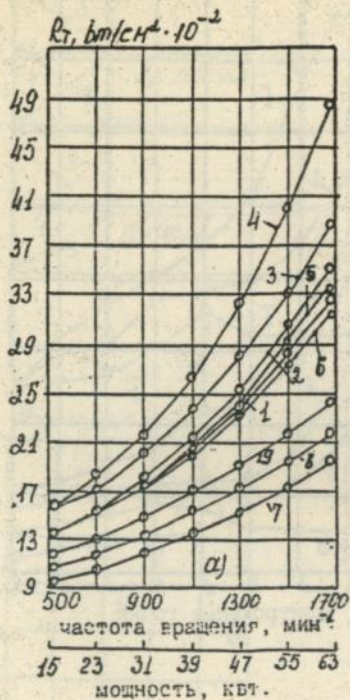


Рис. 12 Зависимость теплового потока от нарушений регулировок топливной аппаратуры дизеля ЯМЗ-236 (а), соотношение между мощностью и тепловым потоком для дизелей ЯМЗ-238/зависимости 1, 2, 3/, КАМАЗ-740 /зависимости 4/, (б)

а/

1. Оптимальная регулировка ТА.
2. $Q_{\text{впр}}$ уменьшен на 10%.
3. $Q_{\text{ц}}$ увеличена на 10%.
4. Совместное влияние $Q_{\text{впр}}$, $Q_{\text{ц}}$, $R_{\text{впр}}$.
5. $R_{\text{впр}}$ уменьшено на 10%.
6. $R_{\text{впр}}$ увеличено на 10%.

холостой ход

7. $R_{\text{впр}} = 17 \text{ Па}$
8. $R_{\text{впр}} = 15 \text{ Па}$
9. $R_{\text{впр}} = 13 \text{ Па}$

б/

1. - $n = 800 \text{ мин}^{-1}$.
2. - $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$
3. - $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$
4. - $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$.

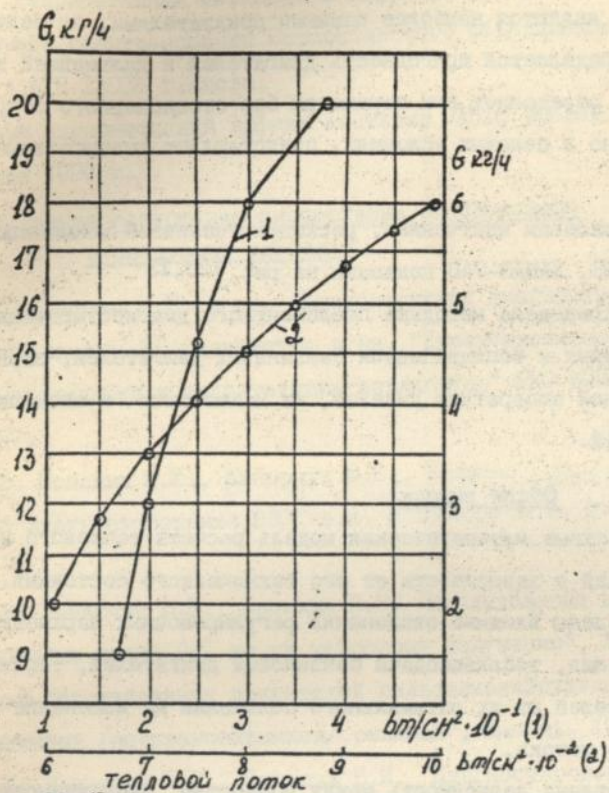


Рис. 13 Соотношение расхода топлива и теплового излучения дизеля КАМАЗ - 740.

1 - зависимость расхода топлива при работе под нагрузкой при $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$.

2 - зависимость расхода топлива на холостом ходе.

диагностирования топливной аппаратуры.

Мощность, развиваемая двигателем в условиях эксплуатации, его экономичность являются наиболее важными показателями, по величине которых определяется пригодность двигателей к дальнейшей эксплуатации. Но определить эти параметры без стационарного оборудования, особенно в полевых условиях, представляет значительные трудности.

Связь между тепловым излучением, расходом топлива и мощностью дизелей ЯМЗ-238, КАМАЗ-740 показана на рис. 126, 13.

В приложении приведена методика поэлементного диагностирования системы зажигания и топливоподдачи бензиновых двигателей, параметров топливной аппаратуры дизелей, их мощностных и экономических показателей.

Общие выводы.

1. Разработана математическая модель расчета теплового излучения двигателей в зависимости от его технического состояния.
2. Определено влияние отклонения регулировочных параметров системы зажигания, топливоподдачи бензиновых двигателей, топливной аппаратуры дизелей от их оптимального положения на изменение величины теплового потока.
3. Установлена зависимость между мощностью, экономичностью и тепловым излучением двигателя, что позволяет определять данные параметры без использования стационарного оборудования.
4. Разработана методика поэлементного диагностирования регулировочных параметров системы зажигания, топливоподдачи бензиновых двигателей и топливной аппаратуры дизелей по величине теплового излучения.
5. В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что применение методов термометрической диагностики для оценки технического состояния двигателей внутреннего сгорания с исполь-

зованием бесконтактных средств измерения тепловых полей - инфракрасных радиометров, является перспективным направлением.

6. Разработанная методика и инфракрасный радиометр внедрены в службе спецтранспорта Бориспольского объединенного авиаотряда и в АТП I3034 г.Киева.

Суммарный экономический эффект составил 71516 рублей в год / в ценах 1990 г./.

Основное содержание диссертации опубликовано
в следующих работах:

1. Попельш И.И. и др. "Бесконтактное диагностирование дизелей при помощи ИК радиометра в кн. "Проектирование, строительство, механизация и эксплуатация аэропортов" РИО КИИГА, 1985 г. с. 62-67.

2. Попельш И.И., Канарчук В.Е., Талызов Г.Н., Дмитриев Н.Н. "Способ диагностирования ДВС" а.с. № I54687I Б.И. № 8 1990 г. с.207.

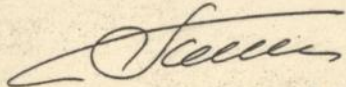
3. Канарчук В.Е., Попельш И.И. "Исследование нестационарных тепловых полей ДВС по их тепловому излучению", Тезисы конференции "Исследование двигателей сельскохозяйственных машин в динамических /неустановившихся/ режимах", Казань, 1984 г., с.76.

4. Канарчук В.Е., Попельш И.И. "Диагностирование ДВС при помощи ИК радиометра", Депонирование, 1983 г. № 3997, Ул-Д82.

5. Канарчук В.Е., Попельш И.И. "Определение технического состояния энергетических установок по инфракрасному излучению", Депонирование, № 857-84, № 6.

6. Канарчук В.Е., Попельш И.И. "Экспресс-диагностирование двигателей ИК радиометром", Автомобильная промышленность, № 4, 1985 г. с.

7. Канарчук В.Е., Попельш И.И. "Диагностирование топливной системы дизелей по тепловому излучению", Автомобильная промышленность, № 9, 1986 г. с.



1105 10

Подп. в печ. 6.04.93. Формат 60x84/16. Бум.офс.
Печ. офс. Усл. печ. л. 1,80. Усл.кр.-отт. 1,81 .
Уч.-изд.л. 141 . . Тираж 100 экз. Заказ 854 .

Институт проблем материаловедения
им. И.Н.Францевича АН УССР.
252680 Киев 680, ГСП, ул.Кржижановского,3.

Участок оперативной полиграфии
Института проблем материаловедения
им. И.Н.Францевича АН УССР.
252680 Киев 680, ГСП, ул.Кржижановского,3.

AB 27.333