

888
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

КУДРИН Александр Иванович

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВНОЙ
АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ОСЦИЛЛОГРА-
ФИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВОПОДАЧИ

Специальность 05.22.11-
"Автомобильный транспорт"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

ЧЕЛЯБИНСК
1974

Работа выполнена на кафедре "Автомобильный транспорт" и в лаборатории НИЛ "АВТО" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Научные руководители - кандидаты технических наук,
доценты Анискин И.Г.,
Прокопьев В.Н.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Кузнецов Т.Ф.,
кандидат технических наук,
доцент Бодлин А.Н.

Ведущее предприятие - Челябинский авторемонтный завод.

Автороферат разослан " ____ " _____ 1974 г.

Защита диссертации состоится " ____ " _____ 1974 г.,
в ____ час., на заседании Совета по присуждению ученых степеней
машиностроительных факультетов Челябинского политехнического института
им. Ленинского комсомола (ауд. ____).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке института.

Просьба Вас и сотрудников Вашего учреждения принять участие в заседании Совета или прислать свои отзывы в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью, ученому секретарю Совета по адресу:
454044, г. Челябинск, 44, пр. Ленина, 76.

Ученый секретарь Совета
доцент, кандидат технических наук *А.С. Давыдов* / А.С. Давыдов

Эффективность работы различных технических систем и устройств в значительной мере определяется их техническим состоянием.

В настоящее время вопросам надежности, долговечности и прогнозирования остаточного моторесурса основных деталей, узлов и механизмов автомобилей уделяется большое внимание. Важные проблемы, связанные теорией надежности, долговечности и технической диагностики автомобилей решены в научных трудах таких ученых, как Л.Д. Афанасьев, Н.Я. Говорущенко, Я.Х. Закин, Г.В. Крамаренко, Л.В. Миронников, Я.И. Несвитский, А.М. Шейнин и др.

В связи с дизелизацией автомобильного парка страны особенно актуальным является вопрос повышения эксплуатационной, надежности топливной аппаратуры (ТА) дизельных двигателей. В решении этой задачи существенную роль играет использование методов и средств технической диагностики. Большой вклад в развитие технической диагностики систем питания дизелей внесли коллективы ЛСХИ под руководством Н.С. Едановского, кафедры эксплуатации МТП Ульяновского С.Х.И под руководством И.П. Поджанова, СибИМЭ под руководством Б.В. Павлова и многие другие. Определенная работа в этом направлении проделана за рубежом.

Основной задачей реферируемой диссертационной работы является исследование информационной способности и структуры диагностических сигналов, а также взаимосвязи между структурными и выходными параметрами насоса и форсунки. Главное внимание уделяется вопросам технологии диагностирования и созданию анализатора технического состояния линии высокого давления систем питания дизельных двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238.

Возможность постановки и решения этих задач стала реальной благодаря современному уровню развития теории топливопроводки в дизелях и техники экспериментирования. Значительная роль в этом принадлежит И.В. Астахову, Б.В. Павлову, Т.Ф. Кузнецову, А.С. Лышевскому, М.М. Протодьяконову, Р.И. Тедеру и др.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Основное содержание

диссертации изложено на 114 страницах и иллюстрируется 78 графиками, таблицами, схемами, рисунками. Библиография включает 92 наименования отечественных и 10 зарубежных работ.

В первой главе дается обзор состояния вопроса и формулируются задачи исследования.

Из анализа литературных источников следует, что мощностные и экономические показатели работы дизельного двигателя, его ресурса и текучесть отработавших газов во многом определяются техническим состоянием ТА. При существующей системе технического обслуживания, для определения технического состояния насоса и форсунок необходимы их демонтаж и разборка, что кроме больших трудозатрат влечет за собой нарушение приработки сопрягаемых деталей. Кроме того, из опыта эксплуатации известно, что не все узлы ТА в момент проведения технического обслуживания нуждаются в регулировке. Поэтому правильно выбранный и детально разработанный метод диагностирования технического состояния аппаратуры топливоподачи даст возможность сократить трудоемкость технического обслуживания системы питания и повысить ее эксплуатационную надежность.

Диагностирование технического состояния ТА возможно по следующим выходным параметрам:

- по характеру подъема иглы форсунки;
- по химическому составу и температуре отработавших газов;
- по критериям поддона;
- по виброакустическим показателям впрыска;
- по процессу изменения давления топливоподачи.

Для того, чтобы выходной параметр мог служить диагностическим симптомом, он должен быть доступным и удобным для измерений и обладать наибольшей информационной способностью. Для топливной аппаратуры двигателей ЯМЗ все выходные параметры, за исключением первого, удовлетворяют условию доступности и удобства замера.

Информационная способность методов диагностирования оценена коэффициентом эффективности диагноза, предложенным впервые И.П. Терских для определения эффективности диагностических приемов при парциальных испытаниях двигателя:

$$K_d = \frac{J_d}{H_d} \quad (1)$$

где J_{Δ} - информация, полученная в результате применения диагностического приема;

H_{Δ} - энтропия состояния диагностируемого объекта.

Представим секцию ТА как сложную систему X , характеризующую X_i структурными параметрами (СП), каждый из которых имеет P_i вероятность выхода за пределы поля допуска. При диагностировании технического состояния системы X выражается через зависящую систему Y , характеризующую Y_i выходными параметрами. Положим, что ряд диагностических параметров $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_i$ определяет состояние структурных параметров $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i$ двумя значениями: "исправен - 0" и неисправен "1". Тогда вероятность появления сигнала "1" равна вероятности P_i , а энтропия

$$H_{\Delta} = \sum_{i=1}^n P_i \log P_i \quad (2)$$

В результате применения диагностического приема часть энтропии системы X уничтожается сведениями, сообщаемыми системой Y о системе X . Поэтому

$$J_{\Delta} = H_{\Delta} - \sum_{j=1}^k P_j \log P_j, \quad (3)$$

где P_j - вероятности выхода за пределы полей допусков структурных параметров, характеризующих выходными параметрами.

Ввиду недостаточного количества требуемых статистических данных, имеющихся в литературных источниках, для определения вероятностей неисправного состояния СП системы топливоподдачи было проверено 138 секций топливных насосов и столько же форсунок.

Перечень параметров, по которым может быть проконтролирована топливная аппаратура в результате применения каждого диагностического приема, составлен на основании изучения работ М.С.Ховаха, В.И.Трусова, Н.Я.Говорущенко, Г.С.Игнатьева и других авторов. Расчет коэффициентов эффективности диагноза показал, что наибольшее количество информации о техническом состоянии топливной аппаратуры несет метод диагностирования по процессу изменения давления топливоподдачи.

Метод диагностирования технического состояния системы питания топливоподдачи в последнее время получил широкое распространение за рубежом. Однако ТА зарубежных дизельных двигателей во

многим отличается от топливopодающих систем двигателей отечественного производства. Между тем, известно, что протекание процесса впрыска и, следовательно, все сопутствующие выходные параметры обусловлены конструктивными особенностями ТА, ее регулировочными характеристиками, скоростным и нагрузочным режимами работы двигателя. По этой причине механический перенос разработанных методов диагностирования на топливopодающие системы отечественных дизельных двигателей невозможен. В нашей стране методика диагностирования технического состояния ТА по давлению топливopодачи находится в начальной стадии разработки. Совершенно отсутствуют рекомендации по выбору режимов диагностирования, не исследованы зависимости между выходными параметрами и техническим состоянием насосов и форсунок, не освоено серийный выпуск средств диагностики. В связи с этим, детальная разработка методики диагностирования технического состояния систем топливopодачи по процессу изменения давления впрыска применительно к дизельным двигателям ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238, широко используемых в качестве силового агрегата на различных модификациях автомобилей, является актуальной задачей.

На основе проведенного анализа в соответствии с главной целью диссертационной работы сформулированы конкретные задачи исследования:

- разработать методику выбора режимов диагностирования ТА;
- произвести теоретический анализ процесса топливopодачи с целью разделения его на элементарные составляющие;
- экспериментально исследовать зависимости между составляющими диагностического сигнала и СД насоса и форсунки;
- разработать технологии диагностирования технического состояния насоса, форсунки, всережимного регулятора и автоматической муфты опережения впрыска;
- изготовить и внедрить на производстве опытный образец анализатора технического состояния ТА и определить экономическую эффективность от практического использования результатов исследований.

Вторая глава посвящена вопросам обоснования режимов работы двигателя при диагностировании топливной аппаратуры и теоретическому анализу процесса топливopодачи. В основу расчета поло-

жены некоторые принципы теории информации для определения таких режимов работы двигателя, на которых наличие неисправностей топливной системы вызывает максимальные изменения формы осциллограммы давления. Рассматривается геометрическое представление сигналов, согласно которому любая реализация сигнала длительностью T в интервале квантования Δt может трактоваться как вектор в пространстве, имеем $n = \frac{T}{\Delta t}$ измерений с координатами $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ (рис. I).

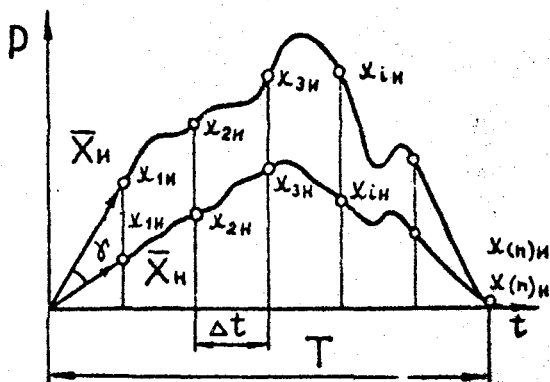


Рис. I

Если рассмотреть две реализации процесса изменения давления $X_n = f_1(t)$ - система в исправном состоянии и $X_n = f_2(t)$ - система неисправна, то нормированный коэффициент взаимной корреляции этих сигналов определится из выражения

$$\cos \gamma = r_{12} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ni} x_{ni}}{\delta_{x_{1n}} \delta_{x_{2n}}}, \quad (4)$$

где $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ni} x_{ni}$ - статистическое среднее математическое ожидание произведения функций;
 $\delta_{x_{1n}}$ и $\delta_{x_{2n}}$ - соответствующие средние квадратические значения.

Чем больше угол γ между векторами сигналов, тем существеннее их структурные различия.

В процессе исследования режимов диагностирования разработаны две методики определения коэффициентов взаимной корреляции сигналов: экспериментальная и расчетная.

По экспериментальной методике коэффициенты взаимной корреляции определяются путем соответствующей обработки осциллограмм, полученных на различных режимах работы двигателя при изменяющихся уровнях технического состояния ТА (рис.2). Число экспериментов по изложенной методике зависит от количества исследуемых режимов и вводимых неисправностей:

$$N_{\Sigma} = N_{P}(N_{M} + 1), \quad (5)$$

где N_{P} - число исследуемых режимов;

N_{M} - количество вводимых неисправностей.

При исследовании большого числа режимов или неисправностей, вследствие резкого увеличения количества экспериментов и затрат времени на обработку осциллограмм, экспериментальная методика становится неэффективной. В связи с этим разработана методика расчета коэффициентов взаимной корреляции на ЦВМ "Минск-22" (рис.3). В данном случае за координаты X_i конца вектора диагностического сигнала принимаются значения давлений топлива у форсунок; определенные по уравнениям граничных условий, описывающих процесс подачи топлива в дизелях. Дискретные значения координат X_{M_i} вектора находятся методом моделирования неисправностей, т.е. введением в расчетные уравнения исходных величин СП, соответствующих заданным неисправностям ТА.

Анализ нормированных коэффициентов взаимной корреляции сигналов давления, полученных по расчетной методике для 24 режимов работы двигателя при 8 неисправностях системы топливоподачи, показал, что для диагностирования ТА дизельных двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 достаточно минимальных оборотов колостого хода и режима максимальной мощности.

Сравнительным анализом установлено, что при использовании двух разных методик обеспечивается сходимость результатов расчета нормированных коэффициентов взаимной корреляции с точностью до 95-99%.

Возможность моделирования неисправностей показала, что текущие координаты конца радиуса-вектора, описывающего в пространстве кривую протекания давления топливopодачи, закономерно зависят от исходных данных, совокупность которых определяет техническое состояние системы питания. Поэтому была предпринята попытка

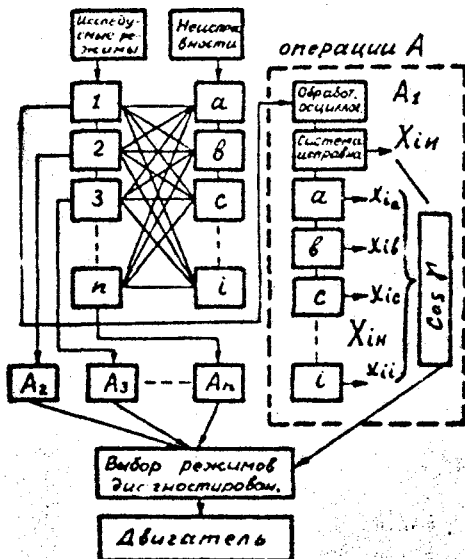


Рис. 2

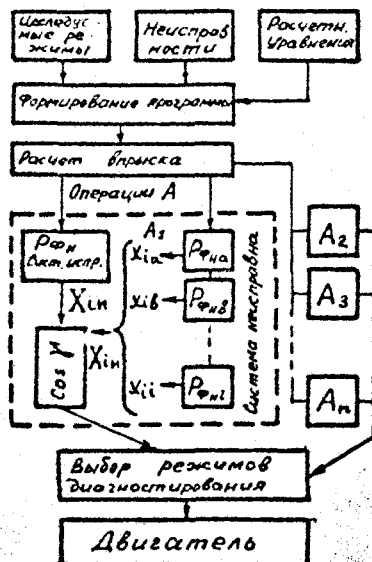


Рис. 3

ка путем анализа уравнений, описывающих процесс топливopодачи, проследить общее влияние технического состояния линии нагнетания на протекание процесса. При одновременном осциллографировании давления впрыска и хода иглы форсунки выделены характерные точки и участки (рис. 4) осциллограммы:

- 1 - начало процесса нагнетания;
- 1-2 - возрастание давления до начала подъема иглы форсунки;
- 2 - начало подъема иглы форсунки;
- 2-3 - впрыск топлива в цилиндр;
- 3 - посадка иглы;
- 3-1 - падение давления до величины остаточного и появления отражения волн давления.

При исследовании влияния технического состояния ТА на процесс топливоподачи предполагалось, что при скачкообразных изменениях состояния системы (точки 1, 2, 3), наибольшее влияние на протекание процесса оказывает техническое состояние узла, вызывающего этот скачок, а вид осциллограмм на промежуточных участках обусловлен техническим состоянием всех узлов, работающих на рассмат-

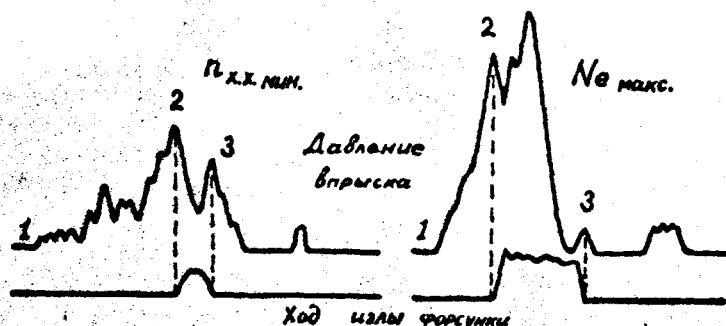


Рис. 4

риваемом участке. Правомочность этого предположения подтвердилась экспериментом.

В конечном итоге, теоретический анализ дал возможность установить характер изменений кривой процесса от технического состояния топливной аппаратуры и показать, что все основные структурные параметры насоса и форсунки могут быть определены по следующим составляющим диагностического сигнала:

- величине задержки впрыска;
- максимальной амплитуде сигнала;
- амплитуде и количеству отраженных волн давления;
- продолжительности впрыска;
- "провалам" давления на участках впрыска и задержки впрыска.

Характер и теснота связи между составляющими сигнала и техническим состоянием топливной аппаратуры исследованы экспериментально.

В третьей главе обосновывается необходимость проведения многофакторного эксперимента и описываются частные методики определения структурных параметров ТА. Рассматривается модель топливоподающей системы, характеризуемой Γ структурными параметрами, каждый из которых может принимать X состояний. Если используется m диагностических режимов, то количество осциллограмм, потребное для диагностирования технического состояния ТА

$$N_0 = X_1^a + X_2^b + X_3^c + \dots + X_m^k, \quad (6)$$

где a, b, c, \dots, k - число структурных параметров, контролируемых на каждом режиме.

Например, при $\Gamma = 6, X = 5$ и $m = 2, N_0 = 250$, вследствие чего применение эталонных осциллограмм для определения текущих значений структурных параметров затруднено. Между тем, для прогнозирования остаточного моторесурса работы прецизионных деталей необходимо знать текущие значения структурных параметров. Для решения этой задачи осциллограммы процесса, в соответствии с теоретическими исследованиями, разделена на составляющие (рис.5)

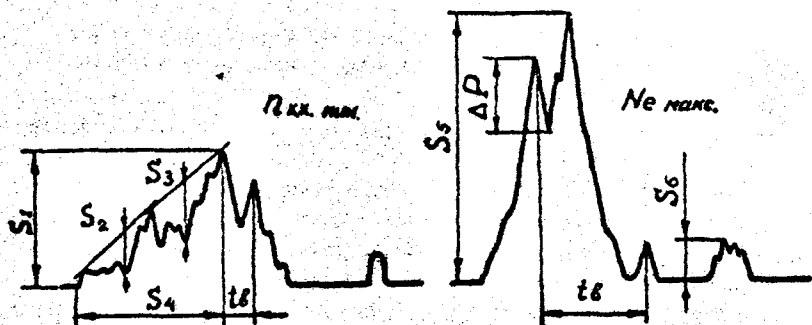


Рис. 5

экспериментально установлена связь между этими составляющими и техническим состоянием ТА. Так как топливоподающая аппаратура является сложной системой, где нельзя четко разграничивать влияние отдельных СП, метод однофакторного эксперимента неприменим по существу. Поэтому исследования по установлению вида и характера связи между СП и выходными параметрами проведены в 2 этапа.

На первом этапе использована методика рационального планирования эксперимента. В качестве исходных данных выбраны шесть основных СП, характеризующих техническое состояние системы топливосодачи:

- зазор в плунжерной паре $\delta_{п}$;
- давление подъема нагнетательного клапана $P_{н}$;
- статическое давление начала впрыска $P_{р0}$;
- зазор по разгрузочному пояску клапанной пары $\Delta_{н}$;
- зазор между корпусом и иглой расшилителя $\delta_{ф}$;
- эффективное проходное сечение сопел расшилителя $M_{фэ}$.

Предварительно вариационные ряды элементов были разделены на пять уровней, причем широта каждого ряда определялась встречающимися в эксплуатации максимальной и минимальной величинами соответствующих СП. Далее построением латинских квадратов была составлена матрица, многофакторного эксперимента, согласно которой получено 25 осциллограмм процесса на каждом режиме диагностирования.

На втором этапе проведены исследования по однофакторной методике, посредством которых установлена связь между составляющими сигнала и СП, не вошедшими в многофакторный эксперимент.

Для определения значений СП, используемых в качестве исходных данных экспериментальных исследований, разработан ряд частных методик. В основу уравнений для расчета условного зазора в прецизионных деталях, который, как принято считать, является единственным критерием влияния всех местных износов деталей на их герметичность и гидронлотность, положена формула Гагена - Пуазейля, определяющая расход жидкости в единицу времени при ламинарном движении ее в плоскости параллельной щели

$$Q = \frac{8 \cdot \delta^3 \Delta P}{12 \mu L}, \quad (6)'$$

где δ - ширина щели;

δ - величина зазора;

ΔP - перепад давлений у контура питания и контура стока;

μ - динамический коэффициент вязкости топлива;

L - длина щели.

В фактических расчетных уравнениях введены дополнительные члены и коэффициенты, учитывающие снижение давления опрессовки за счет утечек топлива, концентричность расположения сопрягаемых деталей, влияние скорости движения плунжера на жесткость протаскивания жидкости через зазор в плунжерной паре и т.д. Эффективное проходное сечение сопел распылителей определялось на стенде постоянной подачи по формуле

$$\mu f_3 = \frac{Q}{\sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}}} \quad (7)$$

Кроме этого разработаны методики тарирования датчиков давления, фотографирования осциллограмм, рассматриваются вопросы выбора контрольно-измерительной аппаратуры и согласования пьезодатчиков с входными цепями осциллографа.

В заключительной части главы анализируются погрешности определения СИ по разработанным методикам. Согласно приведенным расчетам, относительная погрешность не превышает 9%, что обеспечивает достаточную достоверность результатов экспериментальных исследований.

Четвертая глава посвящена обработке результатов исследований.

Любая осциллограмма давления топливоподачи является реализацией случайного процесса. Для получения достоверных экспериментальных данных необходимо усреднение осциллограмм по множеству реализаций. С этой целью определены статистические характеристики и законы распределения амплитуд диагностических сигналов, по которым, с помощью таблиц значений коэффициента Стьюдента, найден объем выборки ($n = 2$) при двусторонней вероятности $\alpha = 0,95$ и относительной погрешности определения амплитуды сигнала $\delta = 2\%$. Осциллограммы, полученные в результате проведения экспериментальных исследований, обработаны методами многомерной математической статистики. Глубина взаимной связи в частных зависимостях оценена корреляционным отношением η_T . Зависимость считалась достоверной, если $\eta_T > 0,5$. Проблема редукции информации решена подбором эмпирических формул графических зависимостей, построенных методом сглаживания. Корреляционным анализом установлена комплексная зависимость составляющих сигналов от соответствующих СИ топливной аппаратуры. Окончательные комплексные эмпирические формулы, которые могут быть использованы для обработки первичной информации на специализированных машинах ЦВМ и в системах программного контроля, получены произведением частных аппроксимирующих

Функций, деленных на генеральную среднюю для всей совокупности данных (таблица I).

Таблица I

Вид зависимости	Эмпирическая формула	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность, %
$S_1 = f_1(P_{\text{ф.о}})$	$S_1 = 0,5 + 0,26 P_{\text{ф.о}}^{0,8}$	$0,83 \frac{\text{МН}}{\text{М}^2}$	5,8
$S_2 + S_3 = f_2(P_{\text{ф.о}}, P_{\text{н}}, \Delta_{\text{н}})$	$S_2 + S_3 = 0,0174 P_{\text{н}} (54 - 0,4 \cdot 10^{-11} P_{\text{ф.о}}^{7,8}) (5,8 - 0,088 \Delta_{\text{н}})$	$0,96 \frac{\text{МН}}{\text{М}^2}$	18,0
$S_4 = f_3(P_{\text{ф.о}}, \delta_{\text{н}})$	$S_4 = 8,8 \cdot 10^{-2} (12,0 + 0,02 \delta_{\text{н}}^3) (5,5 + 0,045 P_{\text{ф.о}})$	1,37 град	8,3
$S_5 = f_4(Mf_3)$	$S_5 = 58 - 51,5 Mf_3^{0,15}$	$3,5 \frac{\text{МН}}{\text{М}^2}$	8,5
$S_6 = f_5(Mf_3, P_{\text{н}})$	$S_6 = 0,12 P_{\text{н}} (2,1 + \frac{25,6}{e^{2,75 Mf_3 + 93 Mf_3}})$	$0,51 \frac{\text{МН}}{\text{М}^2}$	11,9

Точность совпадения эмпирических зависимостей и экспериментальных данных оценена абсолютной и относительной погрешностями. Дана графическая интерпретация комплексных зависимостей, представленных в виде трехмерных моделей (рис.6) и номограмм (рис.7).

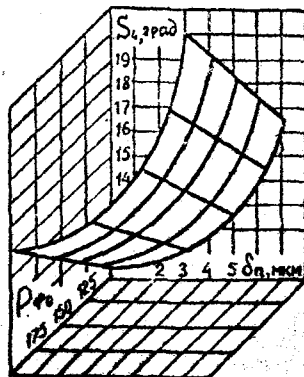


Рис. 6.

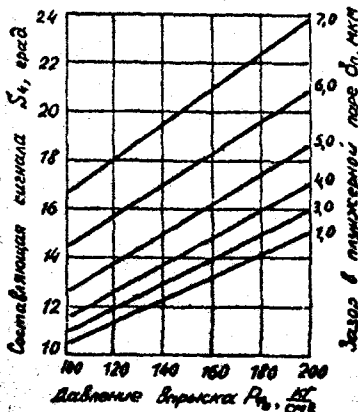


Рис. 7.

По причине затруднений в комплектровке распылителей с тремя моментально изменяющимися СД: зазором между иглой и корпусом, ходом иглы и эффективным проходным сечением сопел - влияние хода иглы форсунки на величину составляющей сигнала ΔP исследовалось по однофакторной методике. Классическим методом установлена связь между продолжительностью впрыска и цикловой подачей, поломками деталей ТА и процессом изменения давления. Для диагностирования системы питания по принципу "годен - не годен" составлен каталог осциллограмм типичных неисправностей.

Экспериментальными исследованиями подготовлена база для разработки технологии диагностирования и создания средств диагностики технического состояния ТА.

В пятой главе освещаются вопросы разработки анализатора технического состояния ТА, технологии диагностирования и экономической эффективности от внедрения результатов исследований.

Заключительным этапом диссертационной работы явилось создание опытного образца унифицированной приставки ЧПИ Э-226, которая может работать в комплекте с серийными осциллографами С1-19Б, С1-13А или с осциллографом для контроля систем зажигания карбюраторных двигателей ЧПИ Э-221. В комплект приставки входят пьезокварцевые датчики давления, электронный тахометр, стробоскоп, согласующие и коммутирующие устройства. Все элементы схем выполнены на транзисторах, что обеспечивает высокую надежность в работе.

Методика контроля базируется на результатах исследований настоящей работы.

С помощью прибора ЧПИ Э-226 по разработанной технологии можно выявить следующие неисправности системы топливоподачи:

- ослабление или поломку пружины форсунки;
- негерметичность по запорному конусу иглы распылителя;
- зависание или пригорание иглы распылителя;
- износ разгрузочного пояса нагнетательного клапана;
- поломку или ослабление пружины клапана;
- закоксование или износ сопел распылителя;
- неудовлетворительную подвижность иглы форсунки;
- неудовлетворительную работу муфты спережения впрыска;
- неправильную установку угла начала подачи топлива;
- увеличенный ход иглы форсунки;
- неудовлетворительную работу всережимного регулятора.

Прибор ЧПИ Э-226 может быть использован в автотранспортных предприятиях для безразборного контроля системы питания дизелей, на испытательных станциях авторемонтных заводов как средство контроля качества ремонта и правильности сборки ТА, в цехах топливной аппаратуры для гидродинамической настройки системы топливоподачи.

Общая погрешность способа диагностирования, определенная с использованием основных принципов теории измерений, сопоставима с погрешностью контроля топливной аппаратуры на стандартном стендовом оборудовании.

Экономический эффект при внедрении прибора достигается, в основном, за счет снижения трудоемкости технического обслуживания системы питания, уменьшения расхода топлива и увеличения моторесурса двигателя. Например, после внедрения прибора в практику работы Челябинского авторемонтного завода, экономический эффект составил 16-18 руб. в год на один отремонтированный двигатель. При годовой программе завода 1320 двигателей, годовой экономический эффект по Южно-Уральскому территориальному транспортному управлению выражается суммой порядка 20-25 тыс. рублей.

Заключение

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований сводятся к следующему:

1. Установлено, что наибольшее количество информации о техническом состоянии системы топливоподачи без ее разборки можно получить при ее диагностировании методом осциллографирования процесса изменения давления в нагнетательном трубопроводе.

2. Разработаны методики выбора режимов диагностирования, применением которых к топливной аппаратуре дизельных двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 установлено, что для диагностирования ее технического состояния достаточно двух режимов работы двигателя: минимальные обороты холостого хода и режим максимальной мощности.

3. Теоретическим анализом процесса топливоподачи доказано, что все основные СП насоса и форсунки могут быть определены по следующим составляющим процесса: величине задержки впрыска, продолжительности впрыска, максимальной амплитуде сигнала, амплитуде и количеству отраженных волн давления, глубине "провалов" давления на участках впрыска и задержки впрыска.

4. Предложено текущее значение СП определять методом анализа составляющих диагностических сигналов. Диагностирование ТА сравнением эталонных осциллограмм рекомендовано для контроля ее технического состояния по принципу "годен" - "не годен".

5. На базе теоретических исследований осуществлено условное разделение сигналов давления на составляющие и экспериментально установлены зависимости между структурными и выходными параметрами системы топливоподачи. Коэффициенты корреляции полученных зависимостей колеблются в пределах 0,505-0,950. Это указывает на достаточно сильную связь между исследуемыми параметрами.

6. Получены комплексные аппроксимирующие функции и графические модели, характеризующие влияние технического состояния системы питания на процесс изменения давления. Средняя относительная погрешность аппроксимирующих зависимостей не превышает $\pm 5,25\%$.

7. Создан прибор и разработана технология диагностирования ТА, позволяющие контролировать топливоподающую систему по всем основным параметрам. Конструкцией прибора предусмотрено использование в качестве регистратора информации серийных образцов электронно-лучевых осциллографов.

8. Установлено, что точность постановки диагноза с помощью разработанных методов и средств диагностирования ТА сопоставима с точностью контроля по общепринятой методике, с использованием стандартного стендового оборудования.

9. Доказана экономическая целесообразность практического использования результатов исследований. Например, внедрением разработанных прибора и технологии диагностирования ТА на Челябинском авторемонтном заводе, достигнут годовой экономический эффект 16-18 руб. на один отремонтированный двигатель.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Кудрин А.И. К вопросу о диагностировании топливной аппаратуры дизелей. - В сб. № 106 "Техническая эксплуатация, надежность и совершенствование автомобилей". Челябинск, ЧПИ, 1972.

2. Анискин Л.Г., Кудрин А.И. Некоторые вопросы методики осциллографирования процесса топливоподачи системы питания дизельных двигателей. - В сб. № 131 "Автомобили, тракторы и двигатели". Челябинск, ЧПИ, 1973.

3. Анискин Л.Г., Кудрян А.И. Исследование влияния режимов контроля системы питания дизельных двигателей на информационную способность диагностических параметров. — В сб. № 131 "Автомобили, тракторы и двигатели". Челябинск, ЧПИ, 1973.

Результаты исследований по диссертационной работе обсуждались на научно-технических конференциях Челябинского политехнического института в 1971–1973 гг., на семинаре "Современные методы диагностирования технического состояния автомобилей" (г. Киев, 1974 г.) на расширенном заседании кафедры "Локомотивы" ХИИТа (г. Харьков, 1974 г.)