

Кондратенко Александр Николаевич, к.т.н.,
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна», г. Санкт-Петербург

МЕТОДИКА МАТРИЧНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО КОМПЛЕКСНОМУ ПАРАМЕТРУ

Аннотация: Каждый объект еще на стадии его разработки, проектирования должен быть приспособлен к диагностированию. Конструкция объекта и его основных частей должна обеспечивать доступ к контрольным точкам без разборки узлов и механизмов, за исключением вскрытия технологических люков, заглушек и т. д., открывающих доступ к местам установки датчиков средств диагностирования. Одной из основных целей технического диагностирования является повышение эффективности эксплуатации объектов диагностирования. В данной статье рассматривается методика, которая позволяет повысить эффективность эксплуатации двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: метод, методика, техническое диагностирование, двигатель внутреннего сгорания.

История развития методов технического диагностирования двигателей внутреннего сгорания показывает, что любой метод диагностирования имеет свои достоинства и недостатки. Эти достоинства и недостатки при существующем уровне развития науки, техники и технологии определяют конструктивные особенности и достигнутые параметры, а значит и область применения тех или иных способов диагностирования в энергетике.

Высокая интенсивность эксплуатации, постановка на ремонт по наработке, а не по техническому состоянию, при отсутствии пополнения и модернизации, сокращается количество технически исправных ДВС.

Известно, что система эксплуатации ДВС по техническому состоянию позволяет снизить темпы износа, но переход к ней возможен только при наличии информационно-управляющей структуры эксплуатации и ремонта, которая в свою очередь не будет эффективной без применения интенсивных технологий.

Широкое распространение получают методы диагностирования дизеля по внешним параметрам, например N_e – эффективной мощности. Действительно, целый перечень неисправностей дизеля приводит к снижению N_e . Таковыми являются: неисправности систем питания и газораспределения, системы воздухообеспечения и многие другие. Поэтому снижение N_e хотя и является объективным признаком ухудшения состояния дизеля, но выявление конкретной неисправности при этом затруднено.

Прежде чем приступить к решению поставленной задачи рассмотрим основные принципы технической диагностики, которых следует строго придерживаться.

Задачей технической диагностики любого устройства является определение текущего состояния устройств и составляющих его узлов и деталей, а также прогнозирование отказа устройства. Дизель является сложным устройством, объединяющим целый ряд механизмов и систем, каждая из которых может быть самостоятельным объектом диагностирования. Традиционно задача диагностирования решается следующими этапами.

Определяются характерные параметры диагностирования. Т.е. выбираются те параметры, которые подлежат измерению.

Разрабатывается методика испытаний. Порядок и способ измерения параметров.

Исследуют экспериментально и (или) теоретически зависимость технического состояния объекта от параметров диагностирования.



Полученные зависимости описываются аналитическими или эмпирическими формулами.

Строится алгоритм диагностирования. При этом разрабатывается метод идентификации неисправностей по измеренным параметрам. Идентификация неисправности, ее качественная и количественная оценка.

Известна индикаторная диаграмма дизеля, а требуется оценить возможность диагностирования дизеля по параметрам рабочего процесса, полученным при анализе индикаторной диаграммы.

Для решения этой задачи необходимо исследовать влияние различных неисправностей дизеля на показатели рабочего процесса.

Алгоритм диагностики может быть построен на основе сравнения реальной (действительной) индикаторной диаграммы и «эталонной» (паспортной) ИД. В качестве паспортной ИД может выступать ИД, полученная экспериментально, при исследовании исправной, хорошо отрегулированной силовой установки корабля с характеристиками, близкими к паспортным.

Экспериментальное определение ИД целесообразно проводить на номинальном режиме работы дизеля, паспортные характеристики параметров рабочего процесса, как правило, известны.

При разработке алгоритма диагностирования наряду с правильным выбором параметров диагностирования, важно точно определить перечень неисправностей (отказов), которые можно идентифицировать при оценке параметров.

Известно, что ИД содержит около 80% информации о работе двигателя, а, следовательно, и о техническом состоянии. Однако дифференциальное влияние различных внешних параметров на рабочий процесс затруднительно в связи с их взаимным влиянием на одни и те же параметры. Попробуем выявить наиболее очевидные, легко поддающиеся анализу по ИД неисправностей. На рисунке 1 Показаны две индикаторные диаграммы (реальная (φ) и паспортная (π)).

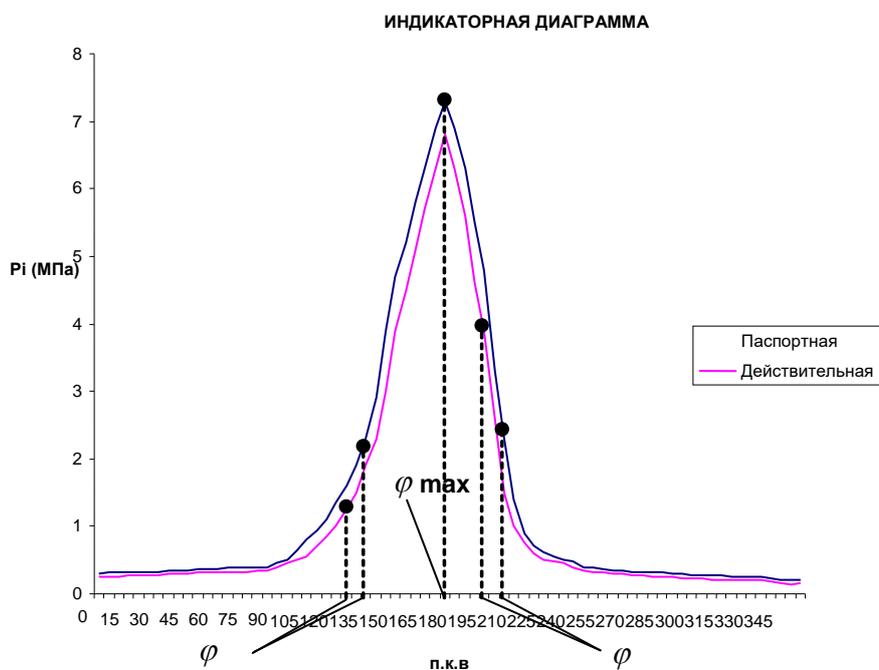


Рисунок 1 - Индикаторные диаграммы (реальная (φ) и паспортная (π))



Для каждой диаграммы определены характерные фазы горения: (φ_H) - угол поворота коленчатого вала, соответствует началу горения, (φ_{MAX}) - угол поворота коленчатого вала, соответствует (P_z) максимальному давлению сгорания и (φ_K) - характеризует конец основной фазы горения. Продолжительность горения определяется как $\varphi_Z = \varphi_K - \varphi_H$, ° п.к.в.

Если $\varphi_Z^P < \varphi_Z^\Pi$, т.е фаза горения диагностируемого рабочего процесса короче, чем в «эталонном» цикле. Это может быть следствием следующих неисправностей: недостаточное количество цикловой подачи топлива V_c ; нарушение фаз газораспределения; малое давление надувочного воздуха.

Если теперь сравнить абсолютное значение углов начала горения φ_H^P и φ_H^Π , то перечень возможных неисправностей сузится. Действительно, более раннее сгорание топлива, как это показано на рисунке 1 может быть связано: с повышенным давлением наддува P_s ; с ранним впрыском топлива.

Теперь действительная неисправность выбирается из известных двух. Для этого рассмотрим еще один независимый параметр известный по индикаторной диаграмме – давление, соответствующее характерным точкам ИД. Так, из рисунка 1 видно, что давление на протяжении всей фазы горения для реальной ИД ниже, чем у ИД паспортного цикла. Таким образом, из оставшихся двух неисправностей отпадает повышенное давление наддува P_s .

Таким образом, раннее начало горения, соответствующее рисунку 1 вызвано увеличенным периодом опережения подачи топлива.

Аналогично, анализом характерных точек горения можно однозначно определить такие неисправности, как подтекание форсунок, запаздывание впрыскивания топлива, давление надувочного воздуха.

Однако, как следует из приведенного анализа рисунка 1 идентификация неисправности затруднена по двум причинам. Первая – сложность автоматизации процесса диагностирования, что исключает возможность применения компьютера. Вторая – повышенные требования к квалификации персонала.

Устранение этих недостатков возможно, если заменить два параметра (P и φ) одним комплексным и разработать алгоритм идентификации неисправностей по значению комплексного параметра в характерных точках.

Таким образом, разработана методика матричного диагностирования дизеля по комплексному параметру. Основная идея этой методики заключается в следующем. Реальная и паспортные индикаторные диаграммы обрабатываются таким образом, что для каждой диаграммы выделяются четыре характерные точки K_1, K_2, K_{MAX}, K_3 (Рис. 2)



Индикаторная диаграмма

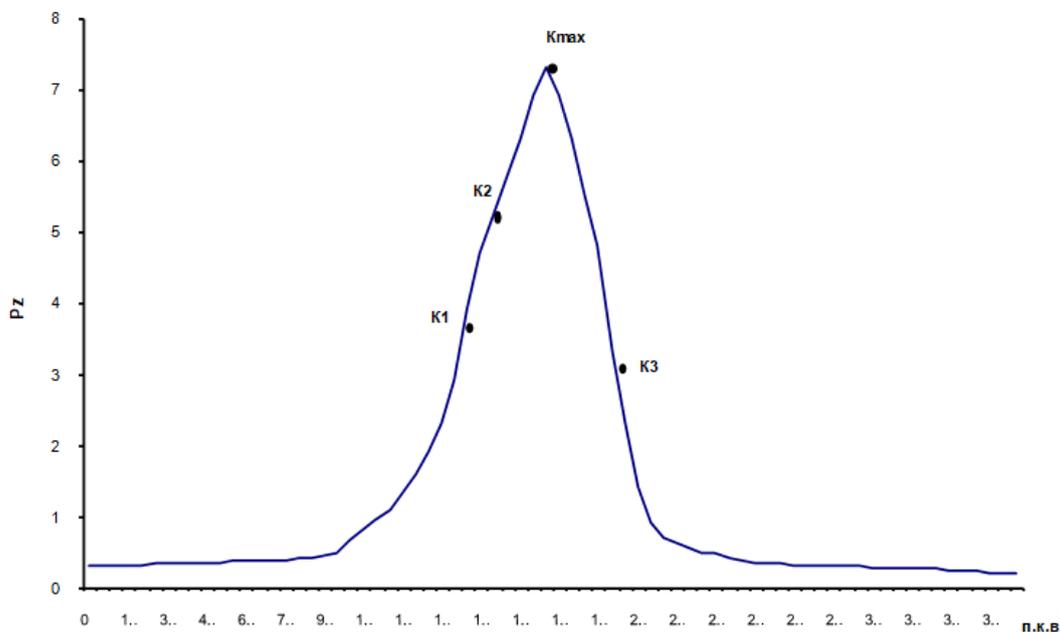


Рисунок 2 – Индикаторная диаграмма двигателя внутреннего сгорания

Точки K_1 , K_2 , K_{MAX} , K_3 соответствуют границам участков, на которых кривая давления меняет знак кривизны на противоположный (точки перегиба), а точка K_{MAX} соответствует максимальному давлению в цикле (P_z). Координаты искомых точек определяются на основании теории временных рядов, когда процедура согласования точек временного ряда сводится к линейной комбинации наблюдаемых значений:

$$y_{C21} = \alpha_1 y_{I+1} + \alpha_2 y_{I+2} + \dots + \alpha_N y_{I+N}$$

где y_{C21} - сглаженное значение параметра;

$y_{I+1}, y_{I+2} \dots y_{I+N}$ - наблюдаемое значение параметра;

$\alpha_1 \dots \alpha_N$ - коэффициенты, зависящие от интервала осреднения (1 . . . n)

Если осреднение производить кубической параболой, например, по 7 – ми точкам, то отыскание K_1 , K_2 , K_{MAX} , K_3 сводится к решению уравнения:

$$y_I = \frac{1}{21}[-2*(y_{I-3} + y_{I+3}) + 3*(y_{I-2} + y_{I+2}) + 6*(y_{I-1} + y_{I+1}) + 7*y_I]$$

и линейных уравнений выражений производных первого и второго порядка:

$$y_I' = \frac{1}{252}*[22*(y_{I-3} - y_{I+3}) - 67*(y_{I-2} - y_{I+2}) - 58*(y_{I-1} - y_{I+1})]$$

$$y_I'' = \frac{1}{42}*[5*(y_{I-3} - y_{I+3}) - 3*(y_{I-2} - y_{I+2}) - 4*y_I]$$



Таким образом, привлечение математического аппарата к обработке любой индикаторной диаграммы приведет к выявлению 4 – х точек: 3 – х – перегибов и одной – глобального максимума (P_z).

Показано, что точка K_1 определяет начало период подготовки горения, K_2 – начало периода воспламенения, K_{MAX} – начало периода основного горения и K_3 – начало периода догорания.

В перечень неисправностей, определяемых анализом такой ИД включено: пониженное давление наддува; подтекание иглы форсунки; запаздывание впрыска топлива; опережение подачи топлива.

В качестве комплексного параметра, по которому осуществляется идентификация, было предложено использовать значение:

$$\Delta\Pi_{KI} = \Delta\Pi_{KI}^D - \Delta\Pi_{KI}^П = \frac{P_{KI}^D}{\left| \varphi_{KI}^D \right|} - \frac{P_{KI}^П}{\left| \varphi_{KI}^П \right|}$$

где $\Delta\Pi_{KI}$ – параметр диагностирования;

$P_{KI}^D, P_{KI}^П$ – соответственно давление в цикле, соответствующие характерным точкам K_i для действительной и паспортной диаграммы;

$\varphi_{KI}^D, \varphi_{KI}^П$ – соответственно углы п.к.в., соответствующие характерны точкам K_i для действительной и паспортной диаграмм.

Таким образом, определяются четыре значения: $\Delta\Pi_{K1}, \Delta\Pi_{K2}, \Delta\Pi_{KMAX}, \Delta\Pi_{K3}$. Причем, их определение может быть осуществлено не только аналитически, но и графически:

$$\Pi_{KI} = tg \alpha_{KI},$$

где α_{KI} – угловая координата точек K_i относительно ВМТ. (Рис.3)

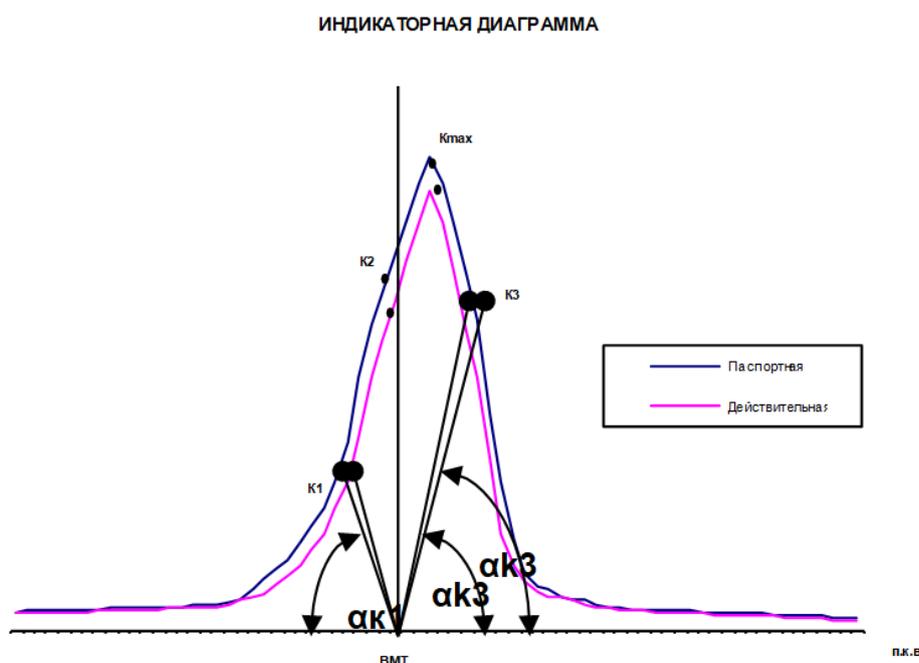


Рисунок 3 – Графическое определение параметров диагностирования



В зависимости от взаимного расположения точек K_I^{Π} и K_I^{Δ} значения $\Delta\Pi_{KI}$ могут принимать значение интервале:

$$-A < \Delta\Pi_{KI} < +A,$$

где A – некоторое действительное число.

Для возможности только качественного диагностирования достаточно весь интервал (Рис. 3) разделить на три критических интервала:

$$\Delta\Pi_{K1} < 0;$$

$$\Delta\Pi_{K1} = 0;$$

$$\Delta\Pi_{K1} > 0.$$

И считать, что $\Delta\Pi_{K1}$ принимает только три значения: “ – “, “ 0 “, “ + “. Так, для рисунка 3. Справедливо: $\Delta\Pi_{K1}^+$, $\Delta\Pi_{K2}^+$, $\Delta\Pi_{KMAX}^-$, $\Delta\Pi_{K3}^+$.

Проведенные исследования показали, что каждой из рассматриваемых неисправностей соответствует своя, определенная комбинация значений $\Delta\Pi_{K1}$. Результаты этих исследований для дизеля могут быть представлены матрицей следующего вида (таблица 1)

Таблица 1

Матричный метод идентификации неисправностей систем дизеля.

Неисправности \ Параметры	$\Delta\Pi_{K1}$	$\Delta\Pi_{K2}$	$\Delta\Pi_{KMAX}$	$\Delta\Pi_{K3}$
Малое давление P_s .	+	+	--	--
Подтекание форсунки	0	0	--	--
Запаздывание впрыска топлива	0	+	--	--
Ранняя подача топлива	0	--	+	+

Таким образом, алгоритм диагностирования дизеля по параметру $\Delta\Pi_{K1}$ можно представить следующей последовательностью операций: обработка реальной индикаторной диаграммы и паспортной с выявлением характерных фаз горения; определение параметров $\Delta\Pi_{K1}$ для каждой диаграммы; определение комплексного параметра $\Delta\Pi_{K1}$ и его знака; анализ комбинации значений $\Delta\Pi_{K1}$; идентификация неисправности.

Недостатком описанной методики диагностирования является слишком малый перечень неисправностей, подлежащих диагностированию. Так, комбинация параметров $\Delta\Pi_{K1}$ изображения на рисунке 3 идентифицируется как малое давление наддува, В тоже время, представляется возможным, что аналогичное распределение знаков $\Delta\Pi_{K1}$ будет иметь место и при увеличении зазоров между зеркалом цилиндра и компрессионными кольцами. Действительно, снижения давления в цикле приведет к более позднему началу подготовки

воспламенения $tg \alpha_{KI} = \frac{P_{KI}^{\Delta}}{\varphi_{KI}} > \frac{P_{KI}^{\Pi}}{\varphi_{KI}}$, т. е. $\Delta\Pi_{K1} > 0$ и даже в случае своевременной подачи

топлива точка K_1^{Δ} будет лежать правее и ниже точки K_1^{Π} , т.е. $\Delta\Pi_{K1} > 0$. Аналогично, можно показать, что при неизменной цикловой подаче топлива $\Delta\Pi_{KMAX} < 0$ а $\Delta\Pi_{K3} > 0$.

Таким образом, применение изложенной выше методики диагностирования дизеля по параметрам рабочего процесса возможно при условии разграничения неисправностей системы наддува и деталей ЦПГ.

