

мов, узлов двигателя.

Перечисленные пожелания в исполнении не обязательны для заводов, но польза, которую могут получить эксплуатационники, велика. Кроме того, такая постановка вопроса как нельзя лучше согласовывается с требованиями унификации деталей двигателя.

Унификация методов и средств для безразборной проверки, обоснованность оценочных параметров и приспособленность двигателей к удобному и оперативному их контролю — неотъемлемая совокупность качеств эффективного использования технического диагноза.

И.П.Терских,  
канд.техн.наук

#### РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПРИ БЕСТОРМОЗНЫХ И ПАРЦИАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ДВИГА- ТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ

Устранение неисправностей тракторов и их двигателей, связанных с большими финансовыми затратами и длительными простоями машин, приносит хозяйствам большие убытки. Чем сложнее и энергонасыщеннее трактор, тем убытки больше. Например, если из-за какой-нибудь неисправности у двигателя трактора К-700 мощность снизилась на 10%, то это равносильно тому, что простаивает трактор ДТ-20. Если же неисправность послужила причиной простоя трактора К-700, нетрудно представить, какие потери будут в этом случае. Эти примеры говорят о том, что разработка методов и средств эффективной проверки машин, в частности двигателей, — важная народнохозяйственная задача. Технически эта задача сложная.

При выборе методов и средств диагностики предпочтение отдадут тем, которые требуют минимума времени и средств для обнаружения и устранения неисправностей.

Неисправности /отказы/ принято классифицировать применительно к системам и механизмам двигателя, например, неисправности систем питания, охлаждения, механизма газораспределения и т.п. В соответствии с классификацией выбирается и методика поиска неисправностей. Например, часто рекомендуют начинать поиск с системы питания, поскольку на ее долю приходится около 75% всех неисправностей двигателя. С точки зрения статистического анализа, это приемлемо. Однако применение указанной стратегии поиска - не лучший вариант и не всегда он применим к отдельным двигателям. Поиск неисправностей длится в большинстве случаев долго.

Нами предложен несколько отличный подход к решению подобных диагностических задач. При этом широко используются бестормозной и парциальный методы испытания двигателей. Эти методы просты в своей реализации и доступны для применения в хозяйственных условиях.

Все встречающиеся у двигателя неисправности можно разделить на две группы. К первой группе относятся неисправности, влияющие на работу одного цилиндра /независимо от системы или механизма двигателя/. Например, разрегулированность клапана механизма газораспределения, нарушение подачи топлива отдельной секцией насоса, неисправность нагнетательного клапана секции насоса и т.д. Ко второй группе относятся неисправности, влияющие на работу одновременно всех цилиндров /степень влияния неисправностей на работу каждого цилиндра примерно одинакова/. Примерами подобных неисправностей являются: неисправность регулятора, нарушение общей подачи топлива, засорение воздухоочистителя и т.п.

Естественно, что предлагаемая классификация условна. Однако она выгодно отличается от существующих тем, что позволяет более конкретно подойти к решению вопроса о локализации неисправностей, возникающих в двигателе. Кроме того, для углубленного анализа возможно применение некоторых положений теории

вероятностей.

В самом деле, двигатель можно представить как сложную систему  $D$ , имеющую  $Z$  цилиндров, каждый из которых может находиться в двух состояниях: "исправен"  $Z_i$ , "неисправен"  $Z_{iH}$ , т.е. иметь конечное множество состояний. Вероятность того, что система  $D$  будет находиться в состоянии, при котором будет неисправен какой-нибудь цилиндр, запишется:

$$P_i = P(D \sim Z_{iH}),$$

Иначе говоря, двигатель имеет одну или несколько неисправностей, влияющих на работу отдельного цилиндра.

В случае, когда неисправны все цилиндры, т.е. имеются неисправности, влияющие одновременно на работу всех цилиндров, вероятность состояния будет выглядеть следующим образом:

$$P_i' = P\left(D \sim \sum_{i=1}^{z=n} Z_{iH}\right).$$

Может быть и третий, более сложный случай, когда двигатель имеет и те, и другие неисправности. Вероятность этого состояния запишется:

$$P_i'' = P(D \sim Z_{iH}), (D \sim \sum_{i=1}^{z=n} Z_{iH})$$

Однако и в этом случае методика локализации неисправностей сохранится, т.к. неисправность, влияющая на отдельный цилиндр, будет выявляться на фоне <sup>норм</sup> нормальной работы остальных цилиндров. Неисправный цилиндр будет работать /если будет работать/ хуже других.

Задача состоит в том, чтобы найти /локализовать/ неисправность, используя для этих целей соответствующие методы и средства обнаружения. При этом нужно получить максимум информации, позволяющий судить о местонахождении неисправности. Эффективность способа /методов и средств/ диагноза можно оценить по формуле:

$$K_d = \frac{J_d}{H(D)}, \quad /1/$$

где  $K_d$  - коэффициент эффективности диагноза;

$J_d$  - количество информации, полученной в результате применения диагностического приема, бит.;

$H$  - энтропия /мера неопределенности/ состояния двигателя, бит.

Чем лучше выбран метод диагностики, тем больше коэффициент эффективности диагноза, тем он ближе к единице. Энтропия состояния двигателя в аспекте поставленной задачи при принятых обозначениях равна: для двигателя с одним неисправным цилиндром

$$H(D) = - \sum_{i=2}^{z-n} P(D \sim Z_{i,n}) \cdot \log P(D \sim Z_{i,n}) \quad /2/$$

или

$$H(D) = -P(Z_{1,n}) \cdot \log P(Z_{1,n}) - P(Z_{2,n}) \cdot \log P(Z_{2,n}) - \dots - P(Z_{n,n}) \cdot \log P(Z_{n,n}) \quad /3/$$

Если принять, что эти состояния равновероятны, то

$$H(D) = \log n = \log Z \quad /4/$$

Практически эта задача выглядит следующим образом. Априори известно по каким-то внешним признакам, что неисправен один цилиндр, но неизвестно, какой. Величина энтропии, подсчитанная для этой задачи по формуле /4/, показана в таблице I.

Таблица I

Число цилиндров двигателя	Энтропия, бит.
1	0,0
2	1,0
3	1,58496
4	2,0
6	2,58496
8	3,0
12	3,53496

Если заранее известно, что неисправен не один цилиндр, а несколько /неизвестно, каких/, энтропия состояния двигателя подсчитывается по формуле:

$$H(D) = \log C_Z^{Z_n}, \quad /5/$$

где  $C_Z^{Z_n}$  - число равновероятных состояний двигателя /число сочетаний из  $Z$  цилиндров по  $Z_n$ . / энтро-

пии, подсчитанные по формуле /5/, показаны в таблице 2/.

Если о состоянии двигателя заранее ничего неизвестно, то энтропия будет иной, чем в предыдущих случаях. Каждый цилиндр может иметь два состояния - исправен  $Z_i$ , неисправен  $Z_{in}$ . Максимальная энтропия двигателя в этом случае будет равна /табл.3/:

$$H(D) = \log(2n) = \log(2Z) \quad /6/$$

Таблица 3  
Величина энтропии состояния двигателей /неизвестно, исправны ли цилиндры/

Число цилиндров двигателя	Энтропия, бит.
1	1,0
2	2,0
3	2,58496
4	3,0
6	3,58496
8	4,0
12	4,58496

Бестормозной и парциальный методы испытаний двигателя позволяют выявить неисправный цилиндр. Информация, получаемая в результате этих испытаний, будет равна энтропии состояния двигателя, подсчитанной по формулам /4/ и /5/ /табл.1,2,3/.

$$J_d = H(D) \quad /7/$$

Таким образом, в аспекте поставленных задач состояние системы Д бестормозными и парциальными испытаниями выявляется полностью.

Однако практически на этом поиск неисправности не заканчивается. Чтобы найти конкретную неисправность, необходимо знать, какие неисправности и в какой степени влияют на работу всех или отдельных цилиндров. В таких случаях энтропия состояния двигателя может быть выражена следующим образом.

Для двигателя с неисправностями первой группы:

$$H(D) = -P(Z_{in}^m) \cdot \log(Z_{in}^m) - P(Z_{2H}^m) \cdot \log(Z_{2H}^m) - \dots - P(Z_{nH}^m) \cdot \log(Z_{nH}^m) \quad [8]$$

Максимальная энтропия состояния двигателя

Таблица 2

Величина энтропии состояния двигателя /априори известно, что исправны несколько цилиндров/

Число цилиндров Двигателя	К о л и ч е с т в о    н е и с п р а в н ы х    ц и л и н д р о в											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1,58496	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1,58496	2,58496	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	2,0	3,58496	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	2,58496	3,90689	4,32193	0,0	2,58496	0,0	-	-	-	-	-	-
8	3,0	4,80735	5,80735	3,90689	5,80735	4,80735	3,0	0,0	-	-	-	-
I2	3,58496	6,04439	7,78136	8,95129	9,62935	9,85174	9,62935	8,95129	7,78136	6,04439	3,58496	0,0

при неисправностях, влияющих на работу одновременно всех цилиндров:

$$H(A) = -\rho \left( \sum_{i=1}^{z=n} z_{i,n} \cdot k \right) \cdot \log \left( \sum_{i=1}^{z=n} z_{i,n} \cdot k \right), \quad [9]$$

где  $m$  — количество возможных неисправностей, влияющих на работу одного цилиндра;

$k$  — количество возможных неисправностей, влияющих на работу одновременно всех цилиндров.

Для того чтобы определить энтропии по формулам /8/ и /9/, необходимо экспериментальным путем изучить сами неисправности, их количество / $m$ ,  $k$  /, природу, причины и вероятности их возникновения.

Исходя из изложенного, стратегия поиска неисправностей двигателя может быть в первом приближении предложена следующая.

1. Перед проверкой исключить возможные неисправности по забывчивости и оплошности механизатора, например "закрыт топливный кран", "плохое топливо"; "неправильно установлен декомпрессор"; "отсутствует в баке топливо" и т.п.

2. Исключить возможные неисправности, обнаруживаемые простым осмотром, например, "загрязнена выхлопная труба", "заедает рейку топливного насоса", "засорилась сетка радиатора" и т.п.

3. Прогреть двигатель, определить мощностные и топливные показатели и некоторые другие диагностические параметры двигателя и его цилиндров, используя бестормозной и парциальный методы.

4. Выявить, к какой группе относится возможная неисправность. Например, если полученные показатели занижены и равномерны по цилиндрам, то неисправность относится к группе "общие". Если же полученные мощностные, топливные и другие диагностические показатели занижены и неравномерны по цилиндрам, то неисправность нужно искать в группе "цилиндровые".

5. Используя предварительные сведения о работе двигателя, из выявленной группы неисправностей определяют, к какой подгруппе /быстро возникаемой или медленно нарастающей/ относится выявляемая неисправность. В первом варианте эту логическую проце-

дуру можно осуществить следующим образом. Если двигатель проработал менее 240 моточасов в непыльных условиях /т.е. до ТУ №2/, то неисправность следует считать быстро возникающей; если более 240 моточасов - медленно нарастающей, возникающей по причине износа. /Для дальнейшего уточнения такого разделения неисправностей требуется изучение статистических данных об отказах двигателя по времени/.

б. Проанализировав замеренные параметры и внешние признаки работы двигателя при пуске, прогреве, холостом ходу и под нагрузкой, найти неисправность.

Для сокращения времени эти этапы проверки могут быть осуществлены с помощью специального стенда /I/ и логического устройства.

#### Литература

Г . Терских И.П. О некоторых возможностях диагностики автотракторных дизелей на основе парциальных испытаний. Известия Иркутского СХИ, вып.27, 1969.