

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РЕМОНТА АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПО ДИНАМИКЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПЕРИОД ПРИРАБОТКИ

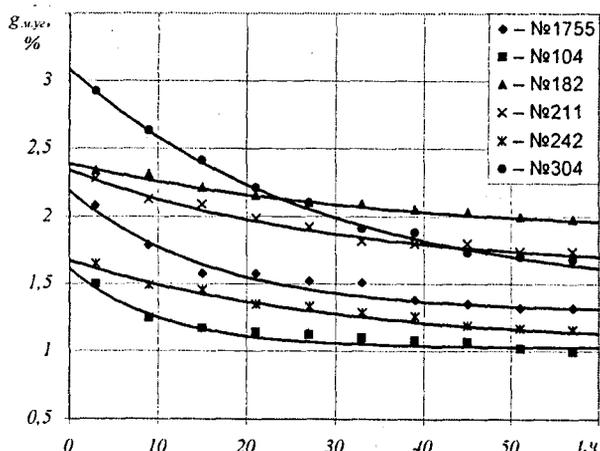
А.К. ТРУБИЛОВ (БСХА)

Совершенствование технологии ремонта автотракторных дизелей невозможно без оценки их качества и в первую очередь послеремонтного ресурса. Учитывая, что средний ресурс современных дизелей равен примерно 9000 мото-ч, для его оценки по результатам испытаний на МИС или подконтрольной эксплуатации требуется как минимум три года. Ясно, что такая информация о надежности утрачивает свое оперативное значение, так как оценивает качество ремонтной продукции значительного срока давности, хотя и является наиболее достоверной. Применение разного вида ускоренных испытаний не получило широкого применения в ремонтной практике в связи с их сложностью и дороговизной.

Проведенные нами исследования позволили предложить использовать для оценки качества ремонта дизеля динамику диагностических параметров (скорость поступления железа в масло, расход масла на угар, количество газов, прорывающихся в картер) в период 60-часовой стендовой обкатки, предшествующей периодическим кратковременным испытаниям, которые, в соответствии с ГОСТом 18523-79, обязаны проводить ремонтные предприятия [1]. Дополнительные затраты в этом случае сводятся к минимуму и связаны только с периодическим измерением выбранных показателей и обработкой результатов измерений.

При аппроксимации динамики параметров состояния следует

учитывать приработку деталей машин, в течение которой наблюдается резкое увеличение изменения параметра. Однако в большинстве случаев при выборе аппроксимирующей функции исследователей интересовал не участок приработки, а участок изменения параметра, близкий к предельному значению, где формируются отказы элементов. Поэтому с целью упрощения расчетов изменение параметра на участке приработки предлагается не аппроксимировать, а влияние приработки учитывать детерминированной величиной [2]. Такой подход для решения поставленной задачи неприемлем, необходимо аппроксимировать изменение параметра и на участке приработки. На основе анализа факторов, влияющих на процесс



$$\text{№1755 } g_{м,уг} = 2,20 - 0,89(1 - e^{-0,062t}) + 5,28 \cdot 10^{-8}t^{2,0}$$

$$\text{№104 } g_{м,уг} = 1,63 - 0,58(1 - e^{-0,097t}) + 5,28 \cdot 10^{-8}t^{2,0}$$

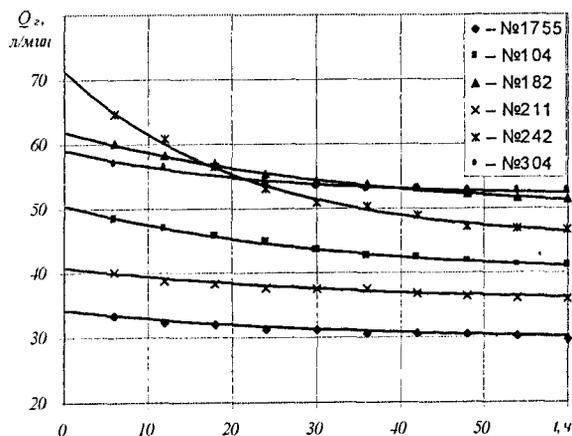
$$\text{№182 } g_{м,уг} = 2,40 - 0,52(1 - e^{-0,029t}) + 5,28 \cdot 10^{-8}t^{2,0}$$

$$\text{№211 } g_{м,уг} = 2,35 - 0,72(1 - e^{-0,034t}) + 5,28 \cdot 10^{-8}t^{2,0}$$

$$\text{№242 } g_{м,уг} = 1,69 - 0,62(1 - e^{-0,034t}) + 5,28 \cdot 10^{-8}t^{2,0}$$

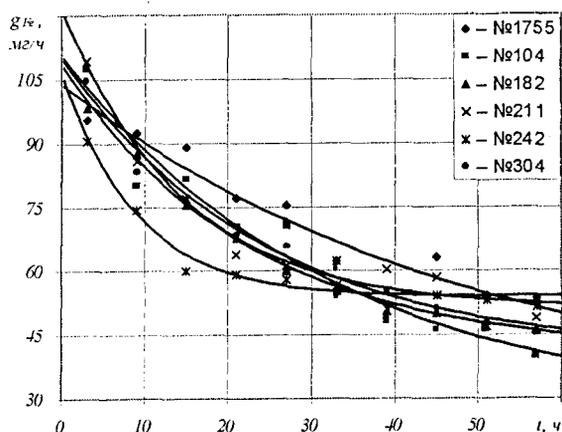
$$\text{№304 } g_{м,уг} = 3,09 - 1,64(1 - e^{-0,036t}) + 5,28 \cdot 10^{-8}t^{2,0}$$

Рис. 1. Динамика относительного расхода масла на угар.



$$\begin{aligned} \text{№ 1755 } Q_r &= 34,03 - 5,02(1 - e^{-0,031t}) + 7,97 \cdot 10^{-4} t^{1,3} \\ \text{№ 104 } Q_r &= 50,51 - 11,44(1 - e^{-0,032t}) + 7,97 \cdot 10^{-4} t^{1,3} \\ \text{№ 182 } Q_r &= 62,17 - 13,38(1 - e^{-0,029t}) + 7,97 \cdot 10^{-4} t^{1,3} \\ \text{№ 211 } Q_r &= 40,71 - 6,14(1 - e^{-0,027t}) + 7,97 \cdot 10^{-4} t^{1,3} \\ \text{№ 242 } Q_r &= 71,51 - 27,12(1 - e^{-0,045t}) + 7,97 \cdot 10^{-4} t^{1,3} \\ \text{№ 304 } Q_r &= 59,29 - 7,55(1 - e^{-0,044t}) + 7,97 \cdot 10^{-4} t^{1,3} \end{aligned}$$

Рис. 2. Динамика количества газов, прорывающихся в картер двигателя.



$$\begin{aligned} \text{№1755 } g_{Fe} &= 103,46 - 80,33(1 - e^{-0,019t}) + 1,67 \cdot 10^{-2} t^{1,0} \\ \text{№ 104 } g_{Fe} &= 109,95 - 86,05(1 - e^{-0,030t}) + 1,67 \cdot 10^{-2} t^{1,0} \\ \text{№ 182 } g_{Fe} &= 107,72 - 69,02(1 - e^{-0,043t}) + 1,67 \cdot 10^{-2} t^{1,0} \\ \text{№ 211 } g_{Fe} &= 120,47 - 70,78(1 - e^{-0,067t}) + 1,67 \cdot 10^{-2} t^{1,0} \\ \text{№ 242 } g_{Fe} &= 104,87 - 52,17(1 - e^{-0,106t}) + 1,67 \cdot 10^{-2} t^{1,0} \\ \text{№ 304 } g_{Fe} &= 109,28 - 70,97(1 - e^{-0,040t}) + 1,67 \cdot 10^{-2} t^{1,0} \end{aligned}$$

Рис. 3. Динамика скорости поступления железа в картерное масло.

изменения названных выше диагностических параметров дизеля, установлено, что зависимость параметра от наработки может быть аппроксимирована следующей функцией:

$$P(t) = P_0 + \Delta_p (1 - e^{-\beta t}) + V_c t^\alpha, \quad (1)$$

где P_0 - начальное значение параметра;

Δ_p - степень изменения параметра под влиянием технологических факторов;

e - основание натурального логарифма;

β - показатель, характеризующий динамику изменения параметра под влиянием технологических факторов;

t - наработка;

V_c - скорость изменения параметра под влиянием конструктивных факторов;

α - показатель степени, характеризующий динамику изменения параметра под влиянием конструктивных факторов.

Определить значения показателей V_c и α по динамике параметра в период приработки не представляется возможным, поэтому предлагается α принимать по специальным таблицам [3], как и при обычном прогнозировании остаточного ресурса, значение V_c рассчитывать, исходя из среднего ресурса T_{cp} по формуле

$$V_c = \frac{P_{\Pi} - P_{н}}{T_{cp}^\alpha}, \quad (2)$$

где P_{Π} и $P_{н}$ - соответственно предельное и номинальное значения параметра.

Остальные показатели P_0 , Δ_p и β могут быть определены по динамике изменения параметра в период 60-часовой стендовой обкатки, используя метод наименьших квадратов.

Результаты исследования динамики выбранных параметров для шести отремонтированных дизелей приведены на рис. 1 - 3. Они свидетельствуют о том, что капитально отремонтированные двигатели имеют значительный разброс параметров. Так, начальное значение относительного расхода масла на угар после заводской технологической обкатки находилось в пределах 1,63...3,09%, прорыва газов в картер - 34,03...71,51 л/

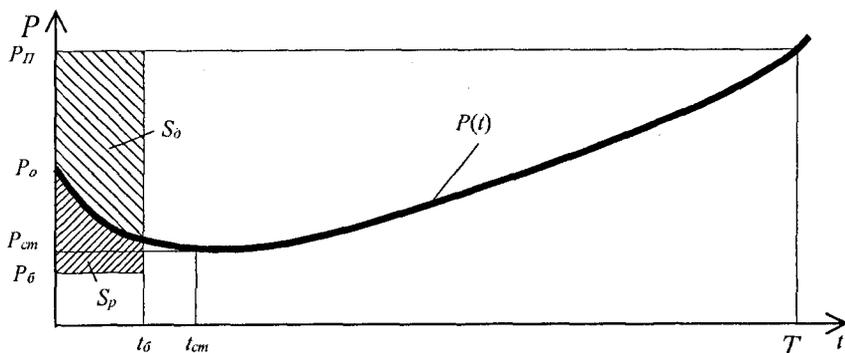


Рис. 4. Графическое представление предлагаемого критерия.

мин, скорости поступления железа в масло - 103,46...120,47 л/мин. Все выбранные параметры в период приработки снижаются, однако степень изменения параметров разная.

Основным преимуществом предлагаемой аппроксимирующей функции является возможность однозначно оценить момент завершения приработки по исследуемому параметру, как точку минимума функции. Полученные аппроксимирующие зависимости использовались для оценки продолжительности приработки $t_{см}$ и значения параметра на момент ее завершения $P_{см}$. По относительному расходу масла на угар они соответственно находились в пределах 90...255 ч и 1,05...1,88%, по прорыву газов в картер - 101...154 ч и 29,55...52,16 л/мин, по скорости поступления железа в масло - 55...237 ч и 27,28...53,77 мг/ч.

Полученные значения могут быть использованы для сравнительной оценки качества ремонта дизелей, однако результаты оценки по разным показателям и будут разными. Например, по начальному значению расхода масла на угар наименее качественным оказался двигатель № 304, однако по значению этого параметра на момент стабилизации он имеет средние показатели и т. д.

Поэтому для оценки качества ремонта дизеля желательно иметь показатель в виде одного числа, значение которого достаточно полно отражает протекание

процесса на заданном интервале времени. Подобный критерий предложен ГОСНИТИ для оценки качества приработки [4]:

$$K_p = \frac{P_б \int_0^{t_б} dt}{\int_{t_б}^T [P(t) - P_б] dt}, \quad (3)$$

где $P_б$ и $t_б$ - соответственно базовое значение параметра и наработка, при которых должна произойти стабилизация параметра.

Данный критерий имеет два существенных недостатка - диапазон его изменения от единиц до бесконечности, и он дает несопоставимую оценку качества по разным параметрам, так как его значение зависит от диапазона изменения параметра. Поэтому нами разработан критерий, свободный от указанных недостатков:

$$K_p = \frac{\int_0^{t_б} [P_{п} - P(t)] dt}{(P_{п} - P_б) t_б}. \quad (4)$$

Сущность предлагаемого нами критерия K_p можно понять из его графического представления, которое дано на рис. 4.

Числитель критерия (4) представляет собой заштрихованную площадь S_0 , расположенную выше кривой $P(t)$, а знаменатель - всю заштрихованную на рис. 4 площадь. Тогда в графическом

представлении критерий (4) можно записать следующим образом:

$$K_p = \frac{S_0}{S_p + S_0}. \quad (5)$$

Вся заштрихованная площадь характеризует качество базового двигателя (100%). Площадь S_p характеризует "утраченное" качество отремонтированного двигателя из-за несовершенства существующей технологии ремонта, а площадь S_0 - "оставшееся" качество. Таким образом, критерий K_p характеризует долю "оставшегося" (или действительного) качества от практически достижимого (эталонного). Чем ближе кривая $P(t)$ на участке приработки приближается к линии $P = P_б$, тем выше качество ремонта, и если эти линии совпадут, то качество ремонта такого двигателя будет равно 1 или 100%. Наоборот, если кривая $P(t)$ на участке приработки совпадет с линией $P = P_{п}$, то качество ремонта такого двигателя будет равно нулю. В качестве базовых предлагается принять $P_б = P_{п}$, $t_б = 60$ ч, что соответствует предусмотренному ГОСТом требованию к продолжительности обкатки.

Разработанный критерий K_p позволяет получить сопоставимую оценку качества ремонта по разным параметрам, так как он учитывает диапазон и характер изменения параметра и дает результат оценки в долях или процентах от базовой величины. Однако результаты оценки качества ремонта одного и того же двигателя по разным параметрам будут отличаться друг от друга. Поэтому качество ремонта двигателя в целом необходимо оценивать по совокупности параметров, используя для этого комплексный критерий, представляющий собой средневзвешенную оценку K_{Σ} следующего вида

$$K_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n m_i K_{pi}, \quad (6)$$

1. Результаты оценки качества ремонта двигателей

№ двигателя	Критерии качества по отдельным параметрам			Комплексный критерий качества K_{Σ}	Ожидаемый ресурс при $T_{\sigma}=6000$ мото-ч T_p , мото-ч
	$K_{gm,uz}$	K_{Qe}	K_{gFe}		
1755	0,50	0,95	0,49	0,52	3120
104	0,71	0,75	0,56	0,66	3960
182	0,20	0,58	0,56	0,39	2340
211	0,30	0,85	0,52	0,45	2700
242	0,61	0,60	0,59	0,60	3600
304	0,20	0,59	0,54	0,41	2460

где m_i - нормированный коэффициент весомости i -го параметра; K_{pi} - критерий качества ремонта двигателя по i -му параметру; n - число параметров, используемых для оценки.

Использование нормированного коэффициента весомости m_i позволит получить сопоставимую оценку качества ремонта независимо от числа используемых параметров. Он может быть рассчитан по формуле

$$m_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}, \quad (7)$$

где W_i - коэффициент влияния i -го параметра на результат оценки.

Естественно полагать, что не все параметры в равной мере отражают техническое состояние двигателя. Поэтому коэффициент W_i следует определять исходя из его информативности, которую предлагается оценивать по относительному изменению параметра в процессе приработки и отклонению параметра в конце приработки от базового значения. Такой подход обосновывается тем, что тот параметр, который в большей степени изменяется во время приработки и, чем продолжительнее это изменение, должен в большей степени отражать происходящие в этот период процессы, а погрешность измерения такого парамет-

ра будет в меньшей степени сказываться на результате оценки ресурса двигателя. С другой стороны, чем больше численное значение параметра в конце приработки отличается от базового, тем в большей степени элемент, состояние которого отражает данный параметр, будет влиять на послеремонтный ресурс (лимитировать ресурс). Исходя из этих соображений, коэффициент W_i предлагается рассчитывать по формуле

$$W_i = \left(\frac{P_{o_i} - P_{cm_i}}{P_{o_i}} + \frac{P_{cm_i} - P_{\sigma_i}}{P_{\sigma_i}} \right) \frac{t_{cm_i}}{t_{\sigma}}, \quad (8)$$

где P_{o_i} , P_{σ_i} , P_{cm_i} - соответственно начальное, базовое и стабилизированное в конце приработки значение i -го параметра;

t_{cm_i} - наработка на момент стабилизации i -го параметра.

Учитывая, что критерий K_{Σ} дает оценку качества ремонта двигателя в относительных единицах, его можно использовать для оценки послеремонтного ресурса T_p по формуле

$$T_p = K_{\Sigma} T_{\sigma}, \quad (9)$$

где T_{σ} - ресурс базового (эталонного) двигателя.

В табл. 1 приведены результаты оценки качества ремонта с помощью разработанных критериев.

Данные табл. 1 свидетельствуют об относительно низком качестве ремонта исследуемых

дизелей и подтверждают ранее сделанное предположение, что результаты оценки качества ремонта двигателя, сделанные по отдельным параметрам, могут существенно (почти в три раза) отличаться друг от друга. Поэтому оценку качества ремонта двигателя в целом следует выполнять по комплексному критерию качества.

Предлагаемая методика оценки качества ремонта дизелей может быть использована ремонтными предприятиями при совершенствовании технологии ремонта двигателей, для оперативного выявления нарушений в технологическом процессе с целью предотвращения выпуска некачественной продукции, а также при аттестации ремонтных предприятий и сертификации их продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. РТМ 10.16.0001.002-87. Руководящий технический материал. Обкатка и испытание тракторных и комбайновых дизелей при капитальном ремонте. - Взамен 70.0001.078-82; Вед. 01.09.89. - М.: ГОСНИТИ, 1989. - 80 с.
2. Михлин В. М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. - М.: Колос, 1984. - 335 с.
3. Техническая эксплуатация сельскохозяйственных машин (с нормативными материалами) / А. С. Гальперин, А. В. Ленский, В. М. Михлин и др.; Под рук. В. И. Черноиванова, С. С. Черепанова, В. М. Михлина. - М.: ГОСНИТИ, 1993. - 327 с.
4. Типовая методика оценки качества приработки тракторных двигателей на моторостроительных и мотороремонтных заводах / В. С. Архипов, А. М. Ступников, И. З. Киселев, Н. Е. Орлов. - М.: ГОСНИТИ.