

Предложенная методика по формированию и использованию долевого фонда разработана с учетом существующего законодательства Республики Беларусь и ориентирована на ликвидацию безразличия к общим результатам труда вследствие накопления и закрепления за членами кооператива части основных фондов, созданных за счет собственных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гражданский кодекс Республики Беларусь. – Мн.: Амалфея, 1999. – 703 с.
2. Декрет Президента Республики Беларусь № 29 от 17.12.2002 г. «О внесении изменений и дополнений в декреты Президента Республики Беларусь от 16 марта 1999 г. № 11 и от 16 ноября 2000 г. № 22».
3. Закон Республики Беларусь «О бухгалтерском учете и отчетности. Учетная политика организации». – Мн.: ООО «Информпресс», 2003. – 27 с.
4. Комментарий к Гражданскому кодексу Республики Беларусь в 2 книгах. Книга 1. – Мн.: Амалфея, 2000. – 543 с.
5. Комментарий к Гражданскому кодексу Республики Беларусь в 2 книгах. Книга 2. – Мн.: Амалфея, 1999. – 621 с.

6. Коротяев, С. Л. Уставный капитал и расчеты с учредителями. Практик. пособие. – Мн.: ОДО «Хозяйство и право», 2002. – 111 с.

7. Реформирование агропромышленного комплекса: Учебное методическое и практическое пособие / Под ред. В. Г. Гусакова. – Мн.: БелНИИ аграрной экономики, 2002. – 783 с.

8. Сельскохозяйственное производство Республики Беларусь в условиях рыночных отношений / Под ред.: В. А. Попкова, Э. А. Петровича. – Мн.: Учебно-методический центр Министерства сельского хозяйства и продовольствия, 1999. – 175 с.

9. Указ Президента Республики Беларусь № 49 от 2 февраля 2001 г. «О некоторых вопросах организационно-правового обеспечения деятельности колхозов». Примерный устав колхоза (сельскохозяйственного производственного кооператива).

10. Котковец, Н. Н. Рекомендации по формированию и использованию долевого фонда членов сельскохозяйственного производственного кооператива / Н. Н. Котковец, А. В. Мучинский и др. – Мн.: УО «ГИУ АПК», 2005. – 30 с.

УДК 621.436.004.67

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 21.12. 2006

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ МОЩНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ОБКАТЫВАЕМЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В. Г. Андрущ, ст. преподаватель (УО БГАТУ)

Аннотация

Объектом исследования является двигатель внутреннего сгорания (ДВС) ЯМЗ-236 после капитального ремонта. Для построения и анализа регрессионной модели были использованы результаты опытов, выполненных по плану полного трехфакторного эксперимента и композиционному плану.

Полученное уравнение показывает взаимосвязь мощности механических потерь двигателя в конце обкатки с такими факторами, как мощность механических потерь в начале обкатки, температура масла в процессе обкатки и средняя скорость изменения мощности механических потерь.

Введение

В значительной мере качество ремонта двигателей снижается в результате их приработки по различным и неоптимальным режимам. Время приработки двигателей не должно быть одинаковым, так как механические свойства поверхностного слоя деталей, чистота поверхности, размеры, значения натягов и зазоров в узлах подвержены статистическим вариациям. Качество приработки определяется не только временем стендовой обкатки, но и значениями исходных параметров двигателя, например, мощностью механических потерь на

трение. И чем выше технологическая культура предприятия, тем меньше средняя продолжительность и рассеяние времени приработки.

Отсутствие развитой теории, обосновывающей режимы обкатки двигателя, привело к разработке экспериментальных методов поиска режимов приработки.

Назначение длительности обкатки в зависимости от исходного технического состояния двигателя позволяет сократить среднее время обкатки, сэкономить топливно-энергетические ресурсы, снизить вредные выбросы в атмосферу.

Исследованию изменения механических потерь в процессе обкатки ДВС в настоящее время хотя и посвящен ряд работ [1, 2], однако большинство из них устанавливают зависимость этих потерь без учета влияния величины начальной мощности механических потерь, а если и рассматривают, то только в период холодной обкатки [3]. Поэтому представляет интерес проведение математического планирования и многофакторного эксперимента с увеличением числа факторов с целью изучения их влияния на мощность механических потерь двигателя ЯМЗ-236 в процессе обкатки после капитального ремонта.

Результаты исследования модели процесса обкатки ДВС

Из анализа литературных источников и по результатам однофакторных экспериментов выделены для дальнейшего исследования следующие факторы:

- частота вращения коленчатого вала - n ;
- температура масла двигателя - T_m ;
- средняя скорость изменения мощности механических потерь v ;
- мощности механических потерь в начале обкатки - $N_{0мп}$.

Фактор n - частота вращения коленчатого вала, исключаем из рассмотрения, поскольку контроль мощности механических потерь осуществляем на одной фиксированной частоте вращения коленчатого вала.

Численные значения и диапазон варьирования факторов определены в соответствии с руководством по капитальному ремонту, технологическими характеристиками двигателя ЯМЗ-236 после ремонта и производственным опытом Минского АРЗ.

Для построения и анализа регрессионной модели были использованы результаты опытов, выполненных по плану полного трехфакторного эксперимента и композиционному плану [4, 5]. Значение уровней и интервалов варьирования приведены в табл. 1.

1. Кодирование варьируемых параметров

Кодовые обозначения факторов	x_1	x_2	x_3
Варьируемые параметры	$N_{0мп}$	\bar{v}	T_m
Единица измерения	кВт	Вт/мин	°С
Основной уровень ($x = 0$)	9,06	22,5	75
Единица варьирования	0,65	4,5	20
Нижний уровень ($x = -1$)	8,41	18	55
Верхний уровень ($x = +1$)	9,72	27	95

Полагая в первом приближении приемлемым уравнение линейной регрессии

$$y = \beta_0 + \sum_i \beta_i x_i$$

для получения информации, необходимой и достаточной, чтобы определить оценки b_j коэффициентов регрессии β_j , составляем план полного факторного эк-

сперимента (ПФЭ) так, чтобы варианты опытов включали все возможные сочетания факторов на нижнем и верхнем уровнях. При $k = 3$ необходимо провести $N = 2^k = 8$ опытов. Результаты опытов по плану полного факторного эксперимента приведены в табл. 2, а дополнительных опытов по композиционному плану - в табл. 3.

2. Результаты опытов по плану полного факторного эксперимента

Номер опыта	Факторы			$N_{мп}$, кВт		
	$N_{0мп}$ x_1	\bar{v} x_2	T_m x_3	y_1	y_2	y_3
1	8,41	18	55	6,97	7,30	6,91
2	9,72	18	55	8,23	7,71	8,09
3	8,41	27	55	7,33	7,73	7,38
4	9,72	27	55	8,34	8,74	8,39
5	8,41	18	95	6,36	6,73	6,38
6	9,72	18	95	7,60	7,13	7,26
7	8,41	27	95	6,77	6,83	7,13
8	9,72	27	95	7,75	7,61	8,04

3. Результаты дополнительных опытов по композиционному плану

9	9,06	22,5	75	6,94	7,13	7,50
10	8,27	22,5	75	6,85	6,73	6,70
11	9,86	22,5	75	8,21	7,74	7,87
12	9,06	17,03	75	7,04	6,92	6,89
13	9,06	27,97	75	7,25	7,65	7,30
14	9,06	22,5	50,7	8,28	7,82	7,36
15	9,06	22,5	99,3	7,06	7,39	7,00

Выполняем статистическую обработку данных.

Гипотеза об однородности дисперсий $s^2\{y_i\}$ при одинаковом числе повторностей n во всех N вариантах опыта проверяется с использованием критерия Кохрена:

$$G = \frac{s^2\{y_i\}_{\max}}{\sum_{i=1}^N s^2\{y_i\}} < G_{\alpha; v_n; N}$$

где $G_{\alpha; v_n; N}$ - табличное значение критерия при уровне значимости α , числах степеней свободы v_n и числе опытов N .

При $v_n = n - 1 = 3 - 1 = 2$, $N = 8$, уровне значимости $0,05G_{\alpha; v_n; N} = 0,5157$

$$G = \frac{7,24 \cdot 10^{-2}}{0,4} = 0,18 < G_{\alpha; v_n; N} = 0,5157.$$

Условие критерия выполняется, следовательно, дисперсии однородны.

Уравнение математической модели с учетом парных взаимодействий имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3.$$

Оценки b_j коэффициентов функции отклика, представленной уравнениями регрессии, определяем по результатам опытов, используя математический аппарат регрессионного анализа и решая относительно неизвестных b_0, b_1, \dots, b_k систему нормальных уравнений.

Сравнивая значения коэффициентов регрессии с границами доверительных интервалов, видим, что коэффициенты b_{12}, b_{13}, b_{23} и b_{123} незначимы. Уравнение регрессии примет вид

$$y = 7,45 + 0,46x_1 + 0,22x_2 + 0,31x_3.$$

Адекватность модели определяем по критерию Фишера

$$F = \frac{s_{R_n}^2}{s_{ад}^2} = \frac{1,24}{8,15 \cdot 10^{-3}} = 152 > F_{\alpha; v_{ад}; v_s} = 8,89.$$

Следовательно, составленная модель не адекватно отражает данные эксперимента.

Условие приемлемости линейного уравнения

$$|\bar{y}_0 - b_0| = 0,26 < s \sqrt{\frac{N + n_0}{n_0 N}} t_{\gamma; v} = 0,13$$

не выполняется, поэтому гипотезу о линейной модели функции надо отвергнуть и строить уравнение регрессии второго порядка.

Для построения уравнения регрессии второго порядка необходимо использовать результаты эксперимента в дополнительных опытах, поставленных в центре плана и в «звездных» точках.

Результаты дополнительных опытов по плану второго порядка берем из исходных данных (табл. 3).

После проведения опытов выполняем статистическую обработку данных.

Находим среднее значение результатов i -го опыта

$$\bar{y}_i = n^{-1} \sum_{s=1}^n \tilde{y}_{is}.$$

Определяем ошибки повторных опытов. Для этого находим среднеквадратическое отклонение по выражению

$$S_i^2 = \frac{\sum_{s=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}.$$

Гипотеза об однородности дисперсий $s^2\{y_i\}$ проверяется с использованием критерия Кохрена.

Максимальное значение дисперсии $s^2\{y_i\}_{\max} = 0,21$.

$$\text{Сумма дисперсий } \sum_{i=1}^N s^2\{y_i\} = 0,85.$$

Вычислим

$$G = \frac{s^2\{y_i\}_{\max}}{\sum_{i=1}^n s^2\{y_i\}} = \frac{0,21}{0,85} = 0,25.$$

Критическое значение критерия Кохрена определяем путем интерполирования

$$G_{\alpha; v_n; N} = 0,33$$

$$G = 0,25 < G_{\alpha; v_n; N} = 0,33.$$

Условие критерия выполняется, следовательно, дисперсии однородны.

Поскольку дисперсии однородны, можно, усредняя дисперсии, вычислить дисперсию воспроизводимости опытов по формуле

$$S^2_{\{y\}} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} = 4,99 \cdot 10^{-2}.$$

Коэффициенты уравнения регрессии в виде полинома второго порядка

$$y = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_kx_k + b_{12}x_1x_2 + \dots + b_{(k-1)k}x_{k-1}x_k + b_{11}(x_1^2 - \bar{x}_1^2) + \dots + b_{kk}(x_k^2 - \bar{x}_k^2)$$

вычисляем по формуле

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2},$$

где j – порядковый номер столбцов расширенной матрицы планирования;

$\bar{y}_i = n^{-1} \sum_{s=1}^n \tilde{y}_{is}$ – среднее арифметическое результатов i -го опыта;

n – число повторностей в каждом из вариантов опыта;

$N = 2^k$ – число вариантов опыта.

При этом оценка свободного члена b_0 уравнения регрессии вычисляется по формуле

$$b_0 = b_0 - \bar{x}_i^2 \sum_{i=1}^k b_{ii} = 7,21,$$

где b_0 – результат вычисления по формуле (4) при $j = 0$;

$$\bar{x}_i^2 = N^{-1} \sum_{i=1}^N x_{ii}^2.$$

С учетом дисперсии воспроизводимости $S_{\{y\}}^2 = 4,99 \cdot 10^{-2}$ с доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$ находим границы доверительных интервалов для коэффициентов регрессии:

$$|b_j| > \Delta b_j = s\{b_j\} t_{\gamma; v_b}.$$

где $t_{\gamma; v_b}$ – критическое значение t -распределения; v_b – степень свободы, $v_b = N_x(n-1) = 15(3-1) = 30$.

Критическое значение $t_{\gamma; v_b}$ находим по приложению 4 [5] $t_{\gamma; v_b} = 2,120$.

Дисперсия воспроизводимости опытов вычислена ранее $S^2\{y\} = 4,99 \cdot 10^{-2}$;

$$S^2\{b_{k01}\} = \frac{S^2\{y\}}{n \sum (x_{i,0})^2}; \Sigma(x_{i,0})^2 = 15; S^2\{b_{k01}\} = 1,27 \cdot 10^{-3}$$

Критическое значение t - распределения при двустороннем ограничении, доверительной вероятности $\gamma = 0,95$ и $\nu_b = N_x(n-1) = 30$ находим по таблице $t_{\gamma; \nu_b} = 2,042$.

Доверительный интервал b_{ij}

$$S^2\{b_{k11}\} = \frac{S^2\{y\}}{n \sum (x_{i,7})^2}; \Sigma(x_{i,7})^2 = 4,361; S^2\{b_{k11}\} = 4,36 \cdot 10^{-3}; \Delta b_{k11} = S\{b_{k11}\}t_k = 0,13.$$

Доверительный интервал для b_i

$$\Delta b_{k1} = S\{b_{k1}\}t_k = 0,312,$$

Доверительный интервал для b_{ij}

$$\Delta b_{k12} = S\{b_{k1}\}t_k = 9,95 \cdot 10^{-2}.$$

Доверительный интервал для b_0

$$\Delta b_{k12} = S\{b_{k0}\}t_k = 0,19.$$

Сравнивая коэффициенты регрессии с доверительными интервалами, отбрасываем незначимые коэффициенты регрессии и получаем уравнение

$$y = 7,21 + 0,47x_1 + 0,21x_2 + 0,3x_3 + 0,18x_4x_5.$$

Вычисляем теоретические значения параметра y_p и величину ошибки

$$\Delta y = \bar{y} - y_p$$

Рассчитываем дисперсию адекватности

$$s_{ад}^2 = \frac{n}{N - n_1} \cdot \sum_{i=1}^N (\bar{y} - y_p)^2 = 5,573,$$

где n_1 - число коэффициентов уравнения регрессии, равно 8.

Критическое значение F - распределения для $\alpha = 0,05$, $\nu_{ад} = N_k - n_1 = 15 - 8 = 7$ и $\nu_B = N_k(n-1) = 15(3-1) = 30$ находим по таблице $F_{\alpha; \nu_{ад}; \nu_B} = 2,23$.

Адекватность модели определяем по критерию Фишера

$$F = \frac{s_{ад}^2}{s^2\{y\}} = \frac{6,5 \cdot 10^{-3}}{4,99 \cdot 10^{-2}} = 0,11 > F_{\alpha; \nu_{ад}; \nu_B} = 2,33.$$

Полученная модель адекватно описывает результаты эксперимента.

В явном виде уравнение имеет вид

$$N_{мш} = 7,21 + 0,47(1,53N_{0мп} - 13,84) + 0,21(0,22v - 5) - 0,3(0,05T_m - 3,75) + 0,18(0,05T_x - 3,75)(1,53N_{0мш} - 13,84)$$

Выводы

Поясним физический смысл математической модели. Полученное уравнение показывает взаимосвязь мощности механических потерь двигателя в конце обкатки с такими факторами, как мощность механических потерь в начале обкатки, температура масла в процессе обкатки и средняя скорость изменения мощности механических потерь. На параметр оптимизации перечисленные факторы влияют пропорционально, на что указывают линейные эффекты. С увеличением значений факторов $N_{0мп}$ и \bar{v} мощность механических потерь увеличивается, а с увеличением температуры - снижается. Наибольшее влияние оказывает $N_{0мп}$, наименьшее \bar{v} . Парное взаимодействие $N_{0мп}$ и T_m не оказывает значительного влияния.

Минимальное значение мощности механических потерь двигателя в конце обкатки $N_{мш} = 6,49$ кВт достигнуто при $N_{0мп} = 8,41$ кВт, $\bar{v} = 18$ Вт/мин, $T_m = 95$ °С.

Полученные результаты могут быть использованы при назначении режимов обкатки, позволяющих в зависимости от мощности механических потерь в начале обкатки и температуры масла достичь в конце обкатки мощности механических потерь, соответствующей области обкатанных двигателей с максимальной скоростью, то есть назначать длительность обкатки в зависимости от технического состояния каждого конкретного двигателя. Это сокращает длительность обкатки в среднем на 15 % с экономией топлива, масла, электрической энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трубилов, А. К. Оценка качества ремонта автотракторных дизелей по динамике диагностических параметров в период приработки / А. К. Трубилов // Агропанорама. - 1999. - № 3. - С. 6-9.
2. Кольченко, В. И. Исследование механических потерь тракторных дизелей / В. И. Кольченко // Исследование и испытание тракторов, их узлов и агрегатов: Труды НИО НАТИ. - М., 1986. - С. 48-59.
3. Батхан, Л. З. Влияние температуры и вязкости масла на механические потери в дизеле Д-240 / Л. З. Батхан [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - Минск: Ураджай, 1986. - Вып. 29. - С. 117-122.
4. Бохан, Н. И. Планирование экспериментов в исследованиях по механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства / Н. И. Бохан, А. М. Дмитриев, И. С. Нагорский. - Горки: БСХА, 1986. - 80 с.
5. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. М.: Статистика, 1973. - С. 30, 32, 132.