

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКА ТОПЛИВА В АВТОТРАКТОРНОМ ДИЗЕЛЕ МЕТОДОМ ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Технический опыт и проведенные исследования /1/ показали, что эффективным методом повышения показателей дизеля является оптимальное управление основными параметрами топливоподачи - цикловой подачей топлива и углом опережения впрыска топлива (УОВТ). Величина УОВТ может влиять на расход топлива, токсичность отработавших газов, шумность двигателя. Поэтому актуальной является задача определения оптимального по расходу топлива УОВТ в условиях изменения режимных факторов работы дизеля в эксплуатации.

В статье показано решение этой задачи методом многофакторного эксперимента. Применение методов планирования эксперимента позволяет эффективно, с наименьшими затратами, решать практически важные задачи по построению математических моделей явлений по опытным данным. Эффективность таких методов доказана на многочисленных примерах использования их в различных областях науки и техники. Объектом испытаний был автотракторный дизель 4 ЧН 11/12,5 (Д-245) Минского моторного завода. В качестве режимных факторов приняты три параметра: частота вращения n , крутящий момент M и температура охлаждающей жидкости $T_{ж}$. Выбранные факторы удовлетворяют требованиям управляемости, совместимости и независимости факторов друг от друга. Приняты также области их изменения на трех уровнях: верхний $X_{1в} = n_{\max} = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $X_{2в} = M_{\max} = 300 \text{ Нм}$, $X_{3в} = T_{ж\max} = 90^\circ\text{C}$; нижний $X_{1н} = 900 \text{ мин}^{-1}$, $X_{2н} = 100 \text{ Нм}$, $X_{3н} = 60^\circ\text{C}$; исходный $X_{10} = 1550 \text{ мин}^{-1}$, $X_{20} = 200 \text{ Нм}$, $X_{30} = 75^\circ\text{C}$. Интервалы варьирования получились соответственно $\Delta X_1 = 650 \text{ мин}^{-1}$, $\Delta X_2 = 100 \text{ Нм}$, $\Delta X_3 = 15^\circ\text{C}$.

После изучения априорной информации была принята математическая модель зависимости УОВТ от указанных выше факторов $\psi = f(n, M, T_{ж})$ в виде квадратичного полинома /1, 2/. Эксперимент выполнялся по полному симметричному трехуровневому плану и число опытов составило $N = 3^3 = 27$. Как известно, матрица полного факторного эксперимента (ПФЭ) обладает свойствами симметричности, ортогональности, ротатабельности и условием нормировки /2/. При проведении эксперимента для каждого сочетания n , M , $T_{ж}$ определяли расход топлива при установочных углах опережения впрыска $\Theta = 18, 21,$

24, 28, 31 ° п.к.в. до ВМТ. Затем для данного сочетания факторов определяли оптимальный УОВТ по условию минимального расхода топлива. Число повторных измерений в опыте составило $m=3$. Результаты одного из измерений показаны в табл. 1.

Таблица 1

Результаты второго измерения

| № п / | п, м и н ! | М, Н М | Т ж , о С | Расход топлива Gт кг/ч при Θ | | | | | Оптим альный угол Θ, пкв | Рас ход то пли ва Gт, кг/ ч |
|-------------|------------------------|--------------|-----------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------------|--|
| | | | | 18° | 21° | 24° | 28° | 31,2° | | |
| 1. | 2200 | 300 | 90 | - | - | 16,17 | 15,85 | 15,89 | 29,11 | 15,83 |
| 2. | 1550 | 300 | 90 | - | 10,84 | 10,63 | 11,02 | - | 23,96 | 10,63 |
| 3. | 900 | 300 | 90 | - | 6,90 | 6,78 | 7,39 | - | 23,23 | 6,76 |
| 4. | 2200 | 200 | 90 | - | 11,39 | - | 11,01 | 11,18 | 27,08 | 11,0 |
| 5. | 1550 | 200 | 90 | 7,46 | 7,38 | - | 7,52 | - | 22,36 | 7,37 |
| 6. | 900 | 200 | 90 | 4,32 | 4,37 | 4,59 | - | - | 18,62 | 4,32 |
| 7. | 2200 | 100 | 90 | - | 6,99 | - | 6,79 | 7,04 | 25,87 | 6,74 |
| 8. | 1550 | 100 | 90 | 4,45 | - | - | 4,47 | 4,73 | 22,83 | 4,31 |
| 9. | 900 | 100 | 90 | 2,50 | 2,50 | 2,61 | - | - | 19,50 | 2,49 |
| 10. | 2200 | 300 | 75 | - | - | 16,02 | 15,89 | 15,95 | 28,28 | 15,89 |
| 11. | 1550 | 300 | 75 | - | 10,89 | 10,63 | 10,89 | - | 23,69 | 10,63 |
| 12. | 900 | 300 | 75 | - | 7,02 | - | 7,02 | 7,73 | 23,56 | 6,93 |
| 13. | 2200 | 200 | 75 | - | - | 11,15 | 11,07 | 11,28 | 26,84 | 11,05 |
| 14. | 1550 | 200 | 75 | 7,48 | 7,51 | - | 7,55 | - | 22,50 | 7,48 |
| 15. | 900 | 200 | 75 | 4,30 | - | - | 4,37 | 4,59 | 22,25 | 4,22 |
| 16. | 2200 | 100 | 75 | 7,30 | 6,99 | - | 6,79 | - | 26,41 | 6,77 |
| 17. | 1550 | 100 | 75 | 4,50 | 4,40 | 4,49 | - | - | 21,08 | 4,40 |
| 18. | 900 | 100 | 75 | 2,54 | 2,50 | 2,60 | - | - | 20,36 | 2,50 |
| 19. | 2200 | 300 | 60 | - | 16,72 | - | 15,97 | 16,03 | 28,84 | 15,96 |
| 20. | 1550 | 300 | 60 | - | 10,80 | 10,61 | 10,92 | - | 24,07 | 10,61 |
| 21. | 900 | 300 | 60 | - | 6,78 | 6,67 | 7,07 | - | 23,44 | 6,66 |
| 22. | 2200 | 200 | 60 | 11,75 | 11,43 | - | 11,37 | - | 24,94 | 11,28 |
| 23. | 1550 | 200 | 60 | 7,60 | 7,45 | 7,66 | - | - | 20,75 | 7,45 |
| 24. | 900 | 200 | 60 | 4,54 | 4,41 | 4,43 | - | - | 22,10 | 4,40 |
| 25. | 2200 | 100 | 60 | 7,29 | - | - | 7,05 | 7,14 | 26,04 | 7,03 |
| 26. | 1550 | 100 | 60 | 4,57 | 4,56 | 4,66 | - | - | 19,77 | 4,55 |
| 27. | 900 | 100 | 60 | 3,60 | 2,60 | 2,65 | - | - | 19,30 | 2,59 |

По результатам опытов решалась интерполяционная задача, т.е. строилась полиномиальное уравнение регрессии, адекватное результатам опыта. Регрессионный анализ включал следующие действия /2, 3/ :

1. Вычисление математического ожидания.

2. Проверка воспроизводимости эксперимента с помощью эксперимента Кохрена. Статистика G этого критерия в нашем случае равна 0,18, что меньше табличного значения 0,23. Это значит, что условия о постоянстве дисперсии шума выполняется.
3. Уточнение дисперсии шума $S_e^2 = 0,341$.
4. Определение численных значений коэффициентов регрессии по методике, предложенной в работе [3] для ортогонального центрально-композиционного плана.
5. Проверка значимости коэффициентов регрессии. Критерий Стьюдента для всех коэффициентов оказался больше табличного, т.е. все коэффициенты оказались значимые. Решено было исключить из уравнения член $(-0,05\bar{X}_2\bar{X}_3)$ ввиду его малого влияния на точность расчета.
6. Проверка адекватности уравнения регрессии с помощью критерия Фишера. Вычисленное значение критерия оказалось меньше табличного, что позволяет признать регрессионное уравнение адекватным.
7. Переход от нормированных переменных к натуральным.

Уравнение зависимости установочного угла опережения впрыска топлива, оптимального по расходу топлива, от режимных факторов для дизеля Д-245 имеет вид

$$\Theta = 18,62 + 4,55 \cdot 10^{-6} n^2 + 8,2 \cdot 10^{-5} M^2 - 1,9 \cdot 10^{-3} T_{ж}^2 - 7,57 \times 10^{-6} nM + 5,56 \cdot 10^{-5} nT_{ж} - 0,0124n - 5,6 \cdot 10^{-3} M + 0,212T_{ж}.$$

На основе анализа расчетных УОВТ и фактических данных, полученных при натурных испытаниях для разных зон тягово-транспортного режима, полученная зависимость была скорректирована за счет изменения свободного члена. Величина свободного члена (обозначенного А) для дизеля Д-245 выбирается по условиям нагружения двигателя:

- $n=800 \dots 1500 \text{ мин}^{-1}$ и $M \leq 300 \text{ Нм}$ - $A=14,62$;
- $n=800 \dots 1500 \text{ мин}^{-1}$ и $M > 300 \text{ Нм}$ - $A=10,62$;
- $n > 1500 \text{ мин}^{-1}$ до $n=2200 \text{ мин}^{-1}$ и на всех уровнях нагрузки по M - $A=13,62$;
- $n > 2200 \text{ мин}^{-1}$ и на всех уровнях нагрузки по M - $A=18,62$.

Полученная зависимость является базовой для последующей корректировки по условиям заказчика двигателя. Так, например, для конкретного двигателя могут индивидуально подбираться УОВТ в режиме пуска, УОВТ в нужных зонах тягово-транспортного режима по условиям выброса токсичных веществ. Полученная таким образом рабочая характеристика является фактически алгоритмом функционирования

устройства опережения впрыска топлива. Подобное устройство может иметь различные конструктивные реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Работа дизелей в условия эксплуатации: Справочник/ А.К. Костин и др. - Л.: Машиностроение , Ленинград. отделение, 1989,-284 с.: ил. 2. Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. Планирование экспериментов. -Мн.: изд-во БГУ, 1982.- 302 с. 5ил. 3. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник/ Е.В. Аметистов и др.- М.: Энергоиздат, 1982.- 512с.:ил.