

УДК 621.892

## **МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТВЕРДОСТИ, НАГРУЗКИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИСАДКИ НА ПАРУ ТРЕНИЯ**

**С.В. Стребков, канд. техн. наук, профессор**

*ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, Белгород, Россия*

*Strebkov\_SV@bsaa.edu.ru*

*Аннотация:* математическая модель для определения оптимума концентрации противоизносной присадки при компенсации нестабильности технологических значений полученной твердости поверхности трения после восстановления и последующей термообработки.

*Abstract:* mathematical model for definition of an optimum of concentration of antiwear additive at compensation of instability of technological values of the received hardness of a surface of friction after restoration and the subsequent heat treatment.

*Ключевые слова:* трибологическая система, активный трехфакторный трехуровневый эксперимент, план Бокса-Бенина, матрица, износ, твердость, коленчатый вал, восстановление.

*Keywords:* tribological system, active three-factorial trekhurovnevnevy experiment, plan of Boxing Benin, matrix, wear, hardness, bent shaft, restoration.

**Введение.** При изготовлении коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания поверхности шатунных и коренных шеек подвергают поверхностной закалке токами высокой частоты на глубину до 4 мм. Этот процесс характеризуется нестабильностью твердости как по глубине, так и по длине поверхности шейки. В процессе эксплуатации шейки подвержены гидроабразивному изнашиванию и для восстановления работоспособного состояния используют метод ремонтных размеров при слесарно-механической обработке. Однако в этих случаях могут наблюдаться нестабильность значений твердости как по глубине шейки, так и по ширине. С твердостью напрямую связана износостойкость сопряжения и его ресурс. Компенсировать снижение износостойкости поверхностей трения возможно введением в смазочный материал дополнительно противоизносные присадки. При этом стоит задача обоснования ее концентрации в зависимости от несоответствия твердости. В этом случае можно обеспечить необходимый управляемый уровень надежности объектов после ремонта [1, 2].

**Основная часть.** Для трибологической системы с неизвестным значением износа уравнение регрессии реализуется полиномом

второго порядка и имеет вид:

$$I = a_0 + a_1 \text{HRC} + a_2 N + a_3 C + a_{12} \text{HRC} \cdot N + a_{13} \text{HRC} \cdot C + a_{23} N \cdot C + a_{11} \text{HRC}^2 + a_{22} N^2 + a_{33} C^2, \quad (1)$$

где  $I$  – величина износа, мг;  $N$  – нагрузка, Н;  $\text{HRC}$  – твердость, ед.;  $C$  – концентрация, %;  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_{12}, a_{13}, a_{23}, a_{11}, a_{22}, a_{33}$  – коэффициенты, характеризующие свободный член уравнения, линейные и квадратичные эффекты взаимодействия соответствующих факторов.

Выражение (1) описывает изменение износа в зависимости от твердости поверхности трения, нагрузки и концентрации противозносной присадки и определяет механизм действия присадки при формировании защитных вторичных структур на поверхности трения. Выявить закономерности возможно при проведении активного трехфакторного трехуровневого эксперимента. Одновременно с выявлением влияния вышеперечисленных факторов на износ, при проведении испытаний, определяли их влияние на коэффициент трения и температуру масла, что так же являются характеристикой трибологических свойств сопряжения «деталь – среда – деталь».

При регрессионном анализе требования к влияющим факторам следующие [3, 4, 5]:

- факторы должны быть управляемыми, то есть должна быть возможность придавать фактору любой уровень в области его определения и строго поддерживать в течение всего опыта;
- факторы должны быть однозначными, то есть не являться функциями других факторов;
- факторы должны быть совместимыми, то есть каждый фактор может быть зафиксирован на любом заранее определенном уровне вне зависимости от других факторов;
- факторы должны быть независимыми друг от друга, то есть между ними должна отсутствовать корреляция.

В данном случае все вышеназванные факторы полностью соответствуют предъявляемым требованиям.

Для эксперимента, в котором три фактора изменяются на трех уровнях, наиболее приемлемым является трехуровневый план второго порядка Бокса-Бенкина. Он состоит из 15 опытов, тогда как при полном факторном эксперименте требуется 27. Несмотря на

неортогональность предлагаемого плана, он более предпочтителен, чем центральные композиционные планы второго порядка, так как не требует установку факторов в звездных плечах, за первоначально выбранными пределами варьирования. Это при постановке такого рода эксперимента представляет значительные трудности. Трехуровневый план Бокса-Бенкина для трех факторов является почти рототабельным и имеет высокую эффективность по всем критериям оптимальности ( $e^D=0.879$ ;  $e^A=0.935$ ;  $e^Q=0.957$ ;  $e^E=0.739$ ) [6, 7].

Область варьирования твердости рабочей поверхности образца (ролика) составляет 35...55 HRC с шагом 10 единиц. Верхнее значение твердости рабочей поверхности (55 HRC) соответствует номинальной твердости шеек коленчатого вала. Нижнее значение (35 HRC) – твердости после восстановления наплавкой.

Нагрузку изменяли в диапазоне 700...1000 Н с шагом 150 Н. В качестве верхнего предела нагружения принята наибольшее значение нагрузки, при котором испытание проходило без схватывания и задира. В качестве нижнего предела нагружения установлено значение нагрузки, при которой за время испытания наблюдался износ, фиксируемый выбранным способом.

Концентрация противоизносной присадки в смазочный материал изменялась в диапазоне от 0 до 1 % по массе с шагом 0,5 %. Нижнее значение диапазона соответствует испытанию на чистом товарном масле. Верхнее значение соответствует максимальной рекомендуемой концентрации присадки, при которой произошла стабилизация износа.

Таблица 1 – Уровни факторов и интервалы варьирования

Уровни факторов	Натуральные значения			Кодовые		
	Концентрация присадки, %	Твердость, HRC	Нагрузка, Н	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>			
Интервал, варьирования	0...1	35...55	700...1000	–	–	–
Основной уровень	0,5	45	850	0	0	0
Верхний уровень	1	55	1000	+1	+1	+1
Нижний уровень	0	35	700	-1	-1	-1

Для исключения систематической погрешности перед проведением экспериментов необходимо провести рандомизацию вариан-

тов варьирования факторов. При помощи таблиц равномерно распределенных чисел, формируют последовательность реализации матрицы планирования эксперимента в каждой серии опытов.

**Заключение.** Практическая ценность предлагаемой методики позволяет получить математическую модель для определения оптимума концентрации противоизносной присадки при компенсации нестабильности технологических значений полученной твердости поверхности трения после восстановления и последующей термообработки [8].

### **Список использованной литературы**

1. Коломейченко, А.В. Надежность технических систем / А.В. Коломейченко, Ю.А. Кузнецов, В.Н. Логачев, Н.В. Титов – Орел, 2013. – 198 с.
2. Стребков, С.В. Технология ремонта машин : учеб. пособие / С.В. Стребков, А.В. Сахнов. – М. : ИНФРА-М, 2017. – 222 с.
3. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. 3-е изд. доп. и перераб. / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1967. – 199 с.
4. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос Ленингр. отд-ние, 1980. – 168 с.
5. Нахимов, В.В. Логические основания планирования эксперимента / В.В. Нахимов. – 2 – е изд. перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1981. – 151 с.
6. Маркова, Е.В. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / А.Н. Лисенков. – М.: Наука, 1973. – 219 с.
7. Box G.E.P. Technometrics / D.W. Behnken. – 1960. – V.2. – № 4. – P. 27–34.
8. Стребков, С.В. Качество моторного масла как фактор обеспечения эксплуатационной надежности двигателей КАМАЗ до- и после ремонта / С.В. Стребков, В.П. Ветров // Техника и оборудование для села. – 2003. – № 12. – С. 26–28.

УДК 621.43.016.

## **ДИАГНОСТИКА ДИЗЕЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ПНЕВМО-ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ПОТОКА ПРИ РАБОТЕ НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА**

**Ю.А. Шамарин<sup>1</sup>, доцент, канд. техн. наук,**

**И.И. Руденко<sup>2</sup>, соискатель**

<sup>1</sup>МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, <sup>2</sup>РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

*Аннотация:* В статье проведен анализ современного состояния вопроса о диагностике автомобилей при работе на альтернативном топливе, отмечена склонность большего применения электронных и компьютерных технологий, что способствует увеличению оперативности и достоверности ее результатов при одновременном снижении трудоёмкости. Отмечено, что диагностика машин, проводи-