

**Обобщение результатов ускоренных стендовых испытаний  
на усталость стальных и чугунных коленчатых валов  
автотракторных двигателей разных исследователей**

В.А. Денисов, к.т.н.  
ФБГНУ ГОСНИТИ  
109428, г. Москва, Институтский пр-д, д.1  
va.denisov@mail.ru

**Аннотация.** Произведено обобщение результатов ускоренных стендовых испытаний на усталость стальных и чугунных коленчатых валов автотракторных двигателей, полученных разными авторами. Разработана обобщенная математическая модель усталостной долговечности стальных и чугунных коленчатых валов с учетом вероятности отказа.

**Ключевые слова:** стендовые испытания, ускоренная оценка, усталость, долговечность, коленчатый вал.

Анализ литературы [1-5] показал, что экспериментальные исследования на усталость коленчатых валов (новых и восстановленных различными способами) ограничивались выборками объемом 5-10 образцов. При этом ошибка оценки пределов выносливости  $s-1$  исследуемых выборок коленчатых валов, а, следовательно, и других параметров кривых усталости, достигала 20% и более. Что бы повысить точность оценки исследуемых параметров требуется увеличить объемы выборок. С этой целью можно воспользоваться результатами экспериментальных исследований различных авторов [1-6]. Прямое объединение такой информации невозможно произвести из-за значительного расхождения оценок пределов выносливости одних и тех же серий валов, полученных разными авторами. Это обусловлено применением разного испытательного оборудования, методик испытаний и обработки их результатов, а также малыми объемами выборок, по которым производился прогноз пределов выносливости исследуемых серий валов. Чтобы достаточно достоверно обобщить результаты испытаний коленчатых валов, полученные разными исследователями, необходимо воспользоваться относительными характеристиками экспериментальных данных  $\sigma_{ai}$ , и  $N_i$ .

Для обобщения использовались данные испытаний коленчатых валов из высокопрочного чугуна двигателей СМД-14, ЗМЗ-53, ЗМЗ-24 (ГАЗ-21, УМЗ-451), и из стали двигателей ЯМЗ-236/238/240, СМД-60/62, КАМАЗ-740, Д-240, 6-ВД, приведенные в работах [1-6].

Обобщение проводилось с помощью нормирования амплитуд напряжений  $\sigma_{ai}$  по пределу выносливости на базе  $N_b = 10^6$  циклов нагружения при  $Q=0,5$ , найденного графически линейным аппроксимированием серии точек в логарифмических координатах по каждой партии образцов. Графическая обработка данных и расчеты производились с использованием программы Microsoft Excel 2010. В результате были получены относительные характеристики нагруженности образцов:

(1)

а по ним построены кривые равной вероятности разрушения (рисунок 1) стальных и чугунных КВ автотракторных двигателей с использованием программного пакета Statistica 6.

Качественно анализируя компактную зону рассеивания экспериментальных данных, которая описывается стохастической функцией (R= -1):

(2)

можно допустить, что параметры  $A_Q$  и  $B_Q$  одинаковы для стальных и чугунных коленчатых валов различных марок двигателей, как для новых валов, так и для валов ремонтного фонда, и восстановленных разными способами.

Этот вывод вытекает из того факта, что все точки, характеризующиеся многообразием методов изготовления, восстановления и упрочнения рассматриваемых стальных и чугунных коленчатых валов, а также их материалом, равномерно перемешаны в зоне рассеивания.

Полученное поле точек ( $n=1174$ , в том числе, 529 чугунных КВ и 645 стальных КВ) в координатах  $\sigma_{ai}^* - \lg N_i$  (рисунок 1), позволило построить обобщенные кривые равной вероятности разрушения при  $Q = 0,05; 0,50; 0,95$  для чугунных и стальных коленчатых валов разных марок двигателей, новых и восстановленных разными методами, используя непараметрический подход

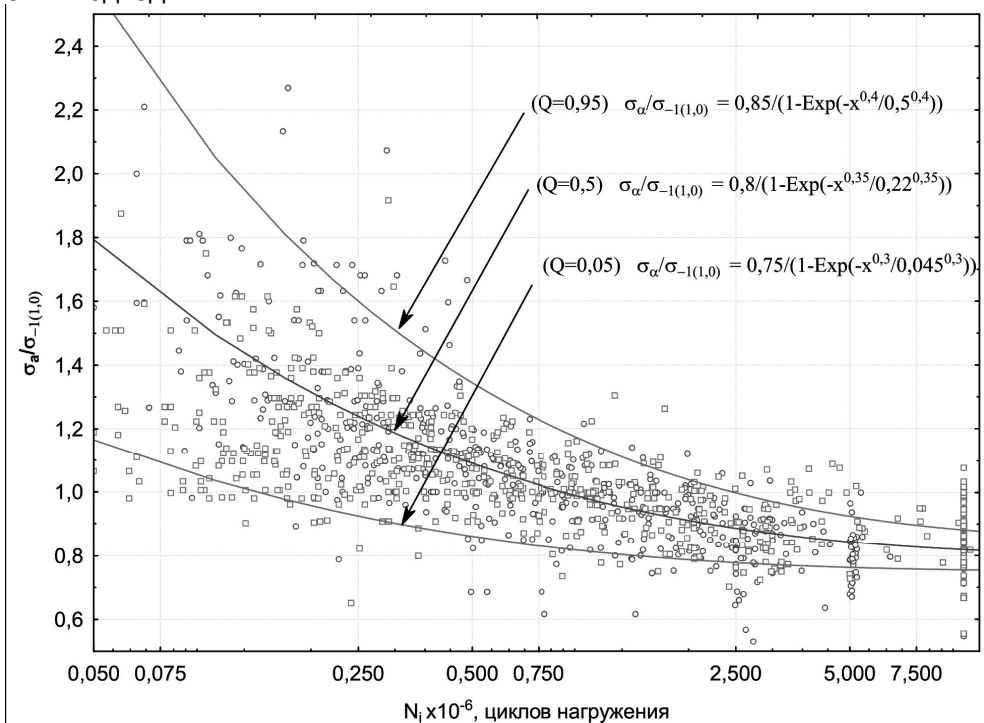


Рисунок 1 - Диаграмма рассеивания относительных пределов выносливости стальных и чугунных КВ различных состояний по результатам испытаний на усталость при переменном изгибе С этой целью произведено группирование точек по уровням приведенных напряжений  $\sigma_{ai}^*$  в интервалах: 0,5 – 0,599; 0,6 – 0,699; 0,7 – 0,799; 0,8 – 0,899; 0,9 – 0,999; 1,0 – 1,099; 1,1 – 1,199; 1,2 – 1,299; 1,3 – 1,399; 1,4 – 1,499; 1,5 – 1,599; 1,6 – 1,699.

На каждом уровне нагружения вычислены следующие характеристики:

- среднее значение относительной нагрузки

$$\bar{\sigma}_{ai}^* = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \sigma_{aik} \quad (3)$$

где  $k$  – номер точки на  $i$ -ом уровне нагрузки;  $n$  – число точек на  $i$ -ом уровне;

- среднее квадратическое отклонение SN и коэффициент вариации наработки  $V_N$ ;
- наработки  $N_{Qi}$  при  $Q = 0,05; 0,50; 0,95$ .

По полученным данным для каждого значения Q вычислены параметры масштаба  $A_Q$ , формы  $B_Q$  и кривых усталости по формулам [7]:

$$B_Q = \frac{1}{m} \sum_{i \neq j}^m \frac{\lg \left( \frac{1 - \sigma_{-1Q}^* / \sigma_{ai}^*}{1 - \sigma_{-1Q}^* / \sigma_{aj}^*} \right)}{\lg \left( \frac{N_{Qi}}{N_{Qj}} \right)}, \quad (4)$$

$$A_Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{Qi} \left[ -\ln \left( 1 - \frac{\sigma_{-1Q}^*}{\sigma_{ai}^*} \right) \right]^{\frac{-1}{B_Q}} \quad (5)$$

Методом последовательных приближений при условии, что размах

оценок  $A_Q$  и  $B_Q$  и  $B_Q \left( \frac{A_{Qmax} - A_{Qmin}}{A_Q}, \frac{B_{Qmax} - B_{Qmin}}{B_Q} \right)$  достигает минимума.

Результаты обработки данных обобщений и оценка параметров кривых равной вероятности разрушения коленчатых валов позволяют представить семейство кривых равной вероятности разрушения стальных и чугуновых коленчатых валов в следующей форме:

при  $Q = 0,05; \sigma_{ai}^* = 0,75 \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{N_i \cdot 10^{-6}}{0,045} \right)^{0,3} \right] \right\}^{-1}, \quad (6)$

при  $Q = 0,50; \sigma_{ai}^* = 0,8 \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{N_i \cdot 10^{-6}}{0,22} \right)^{0,35} \right] \right\}^{-1}, \quad (7)$

при  $Q = 0,95; \sigma_{ai}^* = 0,85 \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{N_i \cdot 10^{-6}}{0,5} \right)^{0,4} \right] \right\}^{-1}. \quad (8)$

Формулы (6) – (8) позволяют оптимально организовать ускоренные стендовые усталостные испытания коленчатых валов для прогноза их прочности и ресурса по усталости, построения распределения пределов выносливости новых коленчатых валов, остаточных пределов выносливости ремонтного фонда и валов, восстановленных разными методами.

Достоверность и точность модели проверена на статистически представительных экспериментальных данных, взятых из разных источников, охватывающих железоуглеродистые, легированные конструкционные и цветные сплавы, а также на результатах испытаний натуральных деталей восстановленных и новых коленчатых валов автотракторных двигателей.

### Литература:

Муравьев А.И. Повышение долговечности восстановленных коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53 с учетом особенностей их старения.- Автореф. дисс.... канд.техн.наук. – Кишинев: КСХИ, 1986.-20с.

Ибрагимов Т.Р. Исследование работоспособности чугунных коленчатых валов отремонтированных и восстановленных наплавкой в кислороде. – Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Ташкент, 1975, 1975. 28 с.

Беспалов Ю.А., Сафаров Н.И. Долговечность восстановленных наплавкой коленчатых валов ЗИЛ 130 и ЗМЗ-53. Труды КазНИПИАТ, вып.7, 1976. - с.139-148.

Дехтярь Л.И., Игнатъев Д.А., Андрейчук В.К. Выносливость валов с покрытиями. – Кишинев: Штиинца, 1983. - 175 с.

Какуевичкий В.А. Совершенствование восстановления деталей автомобильных двигателей. – М.: ЦНИТЭИ, 1982. - 55 с.

Денисов В.А. Обеспечение работоспособности и повышение долговечности восстанавливаемого коленчатого вала двигателя ЗМЗ-53. - Автореф. Дисс.... канд.техн.наук. – Саранск: МГУ, 1990.-20с

7. Бурумкулов Ф.Х., Лельчук Л.М., Денисов В.А. Методика прогнозирования остаточного ресурса по результатам ускоренных стендовых испытаний на усталость восстановленных коленчатых валов. - М.: Труды ГОСНИТИ. - 1990, т.89, с. 51-59.

### **Generalization of the results of the accelerated test bench fatigue of steel and cast iron crankshafts automotive engines by different researchers**

V.A. Denisov  
FBGNU GOSNITI  
109428, Moscow, Institutskiy pr-d, 1

**Annotation.** *Generalization of the results of the accelerated fatigue bench tests on steel and cast iron crankshafts, automotive engines, obtained by different authors. The generalized mathematical model of the fatigue life of steel and cast iron crankshafts, taking into account the probability of failure.*

**Keywords:** *bench testing, rapid assessment, fatigue, durability, crankshaft.*