

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВС

О.Г. Куделин, к.т.н., доц.; А.Г. Николаев, к.т.н., проф.;  
ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

На основе теории вероятности разработаны: математический аппарат определения качества технического состояния ДВС, методика определения «поля качества» технического состояния ДВС, инструмент сравнительного анализа качества технического состояния ДВС с оценкой финансовых затрат различных технологий.



В процессе эксплуатации двигателя внутреннего сгорания (ДВС) возникает проблема отслеживания ухудшения его технического состояния в течение одной или нескольких навигаций. В настоящее время производится штатный анализ результатов технического осмотра ДВС, в ходе которого измеряются разрозненные показатели различных его параметров. Зачастую штатный анализ позволяет отследить изменение со временем нескольких отдельных параметров, не имея возможности получить комплексную оценку качества работы ДВС в целом. В данной статье предлагается ввести сводный эффективный показатель качества работы ДВС. Это позволяет ввести три или более группы качества. Группа дизелистов-экспертов позволяет их разграничивать и присваивать каждой из групп соответствующий рейтинг. После того как это будет проделано с помощью введенного показателя, возможно с любой периодичностью отслеживать ухудшение качества ДВС в ходе эксплуатации, а также переход его из одной группы в другую с понижением рейтинга. Кроме того, можно обнаружить повышение (или ухудшение) качества технического состояния ДВС после ремонта.

Критерием качества могут служить среднестатистические характеристики разрозненных параметров множества однотипных ДВС, измеренные в одни и те же моменты времени в течение навигации и сведенные в эффективный показатель качества работы (ЭПКР) ДВС. Полагаем, что значения измерения всех параметров ДВС распределены по нормальному закону. Тогда этими критериями служат математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение.

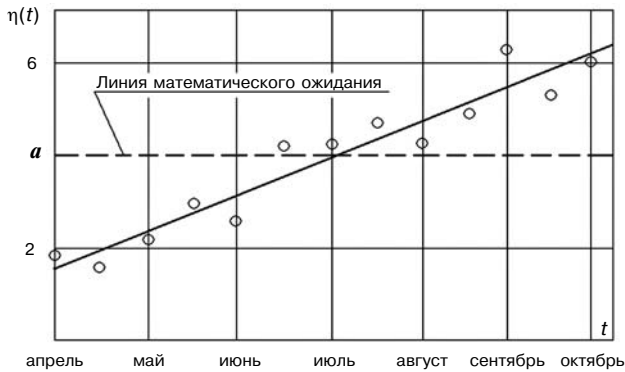
В статье [1] было предложено все параметры работы ДВС условно разбить на три группы (на самом деле таких групп может быть больше, возможно также дополнительное разбиение на подгруппы): основные параметры; второстепенные и третьестепенные параметры. К первой группе пусть относятся удельные величины расхода топлива, масла, воздуха и некоторые другие параметры, связанные с эффективными показателями работы двигателя; ко второй — параметры, связанные с максимальными величинами давления сгорания и сжатия, температуры отработавших газов, а также в подшипниках скольжения и другие; к третьей — износные показатели (зазоры в деталях ДВС).

Учитывалось, что на ухудшение технического состояния ДВС оказывают влияние как отдельные параметры всех введенных в рассмотрение групп, так и их всевозможные совместные сочетания. В этой связи был введен обобщенный показатель ухудшения технического состояния ДВС  $\eta(t)$  :

$$\eta(t) = k\{\alpha(t)p_1(t) + \beta(t)p_2(t) + \gamma(t)p_3(t) + \alpha(t)\beta(t)p_1(t)p_2(t) + \alpha(t)\gamma(t)p_1(t)p_3(t) + \beta(t)\gamma(t)p_2(t)p_3(t) + \alpha(t)\beta(t)\gamma(t)p_1(t)p_2(t)p_3(t)\}, \quad (1)$$

где  $\alpha(t)$ ,  $\beta(t)$ ,  $\gamma(t)$  — неубывающие положительные функции параметров работы ДВС первой, второй и третьей групп, которые приводятся к единому масштабу с помощью нормирования соответствующих размерных величин;  $p_1(t)$ ,  $p_2(t)$ ,  $p_3(t)$  — весовые характеристики соответственно первой, второй и третьей групп параметров;  $k$  — масштабный множитель.

Параметры  $\alpha(t)$ ,  $\beta(t)$ ,  $\gamma(t)$  представляют собой дискретные зависимости, которые измеряются



**Рис. 1. Зависимость параметра  $\eta(t)$  за время навигации по месяцам**

в заданные моменты времени (два или более раза в месяц в течение навигации) для одного отдельно взятого ДВС или группы ДВС. Весовые характеристики  $p_1(t)$ ,  $p_2(t)$ ,  $p_3(t)$  устанавливаются по значимости влияния установленных групп на техническое состояние ДВС. В общем случае это функциональные параметры, хотя в первом приближении их можно полагать постоянными величинами.

По результатам значений (1) можно определить математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение этой случайной величины в каждый момент измерения, а также за период одной или нескольких навигаций.

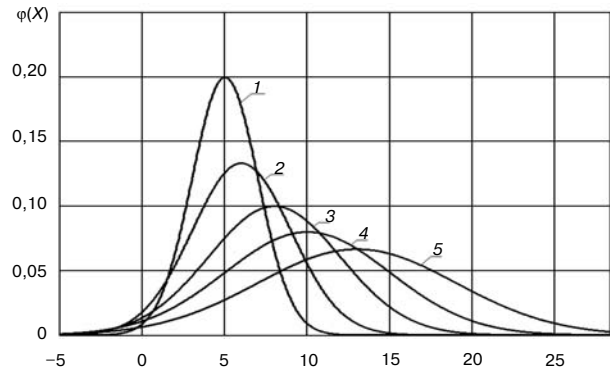
Для примера на рис. 1 приводится изменение параметра  $\eta(t)$  за период одной навигации по месяцам во время предполагаемых измерений.

Пусть, например, для выбранного  $t = t_0$  на каждом шаге измерений вычисляется параметр  $\eta(t)$ . По полученной выборке определяются математическое ожидание  $a$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  случайной величины  $X = \eta(t)$ , призванной характеризовать степень ухудшения технического состояния ДВС в указанный момент времени. С помощью вычисленных значений  $a$ ,  $\sigma$ , согласно нормальному закону распределения [2], определяется плотность вероятности ухудшения технического состояния ДВС для момента времени  $t = t_0$

$$\varphi(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-a)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Следовательно, усреднением  $a$ ,  $\sigma$  за одну или нескольких навигаций можно определить плотности вероятностей ухудшения технического состояния ДВС и за соответствующие периоды времени.

Проанализируем поведение плотности вероятности  $\varphi(X)$  по формуле (2) на основе изменения параметров  $a$ ,  $\sigma$ . Эти параметры варьируются в зависимости от значения параметра ухудшения технического состояния двигателя



1)  $a=3, \sigma=2$ ; 2)  $a=4, \sigma=3$ ; 3)  $a=5, \sigma=5$ ;  
4)  $a=6, \sigma=7$ ; 5)  $a=7, \sigma=10$

**Рис. 2. Функция плотности вероятности ухудшения технического состояния ДВС**

$X$ . На рис. 2 показаны графики плотности вероятности  $\varphi(X)$  в зависимости от изменения параметров  $a$ ,  $\sigma$ .

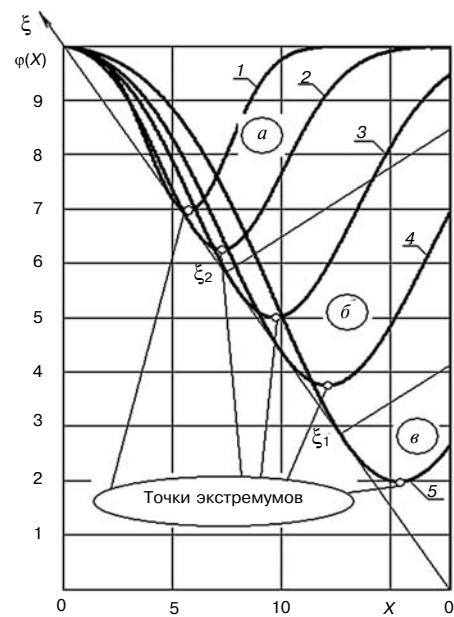
На основе  $\varphi(X)$  вводился эффективный показатель качества работы ДВС:

$$v(X) = N - \sigma X \varphi(X), \quad (3)$$

где  $v(X)$  — (ЭПКР) ДВС;  $N$  — эмпирический параметр смещения шкалы в более удобный диапазон.

На рис. 3 представлены графики изменения функционального параметра  $v(X)$  при тех же значениях  $a$  и  $\sigma$ , как и на рис. 2.

Анализ рис. 3 показывает, что экстремумы плотности вероятности, описывающие качественное техническое состояние ДВС смещаются в координатах этого рисунка влево и вверх.



1)  $a=3, \sigma=2$ ; 2)  $a=4, \sigma=3$ ; 3)  $a=5, \sigma=5$ ;  
4)  $a=6, \sigma=7$ ; 5)  $a=7, \sigma=10$

**Рис. 3. «Поле качества» технического состояния ДВС:  $a$  — зона высокого качества;  $б$  — зона среднего качества;  $в$  — зона низкого качества**

И наоборот, экстремумы плотности вероятности, описывающие менее качественное техническое состояние ДВС, группируются вниз и вправо (см. рис. 3).

Это позволяет ввести в рассмотрение понятие «поля качества» технического состояния ДВС (см. рис. 3), для чего достаточно оставить только точки экстремумов ЭПКР ДВС и провести две или более наклонные линии, перпендикулярные к линии, являющейся касательной к плотностям вероятности. Полученные зоны, разделенные наклонными линиями, являются областями высокого ( $\xi_2 \leq \xi \leq 1$ ), среднего ( $\xi_1 \leq \xi \leq \xi_2$ ) и низкого качества ( $0 \leq \xi \leq \xi_1$ ) технического состояния ДВС. При этом границы, разделяющие «поле качества» технического состояния ДВС на зоны разного уровня, должны устанавливаться экспертами-дизелистами.

Разработанная модель качества технического состояния ДВС позволяет простым технологическим приемом оценивать уровень его технического состояния.

Кроме того, с помощью разработанной математической модели можно осуществлять сравнительный анализ финансовых затрат различных технологий, улучшающих техническое состояние ДВС. Так, при использовании различных тех-

нологий (использование новых конструкций форсунок, распылителей, геометрии камеры сгорания и т. д.) для ДВС среднего качества, находящегося в зоне  $b$  с координатой экстремума  $\xi_{cp}$ , определим динамику смещения координат экстремумов по оси  $O\xi$  относительно  $\xi_{cp}$  для каждой из применяемых технологий (либо комплексов технологий). Естественно, что та технология, у которой смещение в положительную сторону по оси  $O\xi$ , деленное на ее затраты, будет большим, та технология и будет экономически лучшей. Следовательно, эта технология является менее затратной по сравнению с другими анализируемыми технологиями данной математической моделью.

#### Литература

1. Куделин О.Г., Николаев А.Г. Оценки качества технического состояния ДВС. Труды Международного научно-технического семинара «Исследование, проектирование и эксплуатация судовых ДВС» / под общей редакцией О.К. Безюкова. — СПб. : Парк Ком, 2006. — С. 117–123.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. — М. : Наука, 1991. — 384 с.

#### НОВОСТИ ОАО ЗМЗ

### ОАО ЗМЗ ПОЛУЧИЛО ПРИЗНАНИЕ В ОБЛАСТИ РАБОТЫ С МОЛОДЕЖЬЮ

*ОАО «Заволжский моторный завод» — один из крупнейших центров в России по производству двигателей внутреннего сгорания. Предприятие выпускает свыше 80 модификаций двигателей рабочим объемом от 2,2 до 4,67 л, соответствующих современным экологическим стандартам, для автомобилей и автобусов трех автомобильных компаний России — ОАО ГАЗ, ОАО УАЗ, ОАО «Павловский автобус».*



В рамках XI областного конкурса профессионального мастерства работающей молодежи «Золотые руки», прошедшем в Нижнем Новгороде 03.11.2009, ОАО «Заволжский моторный завод» (входит в компанию ОАО «Соллерс») был награжден Дипломом за первое место по работе с молодежью на предприятии в номинации «Предприятие муниципального образования».

Кроме того, молодой рабочий дочерней организации ОАО ЗМЗ — ООО «Ремсервис» фрезеровщик Сергей Смирнов занял первое место по своей профессии. Остальные участники

команды ОАО ЗМЗ, представленной по шести заявленным в конкурсе профессиям — токарь, фрезеровщик, электросварщик, слесарь-инструментальщик, электромонтер, столяр, вошли в десятки сильнейших.

За 11 лет существования областного конкурса молодые моторостроители не раз подтверждали свое высокое профессиональное мастерство, принося в копилку общих побед Дипломы за призовые места.

Но впервые за все годы работа с молодежью, проводимая на ЗМЗ, была признана лучшей. Жюри учитывало все, что делается в этой области на предприятиях-участниках: от таких направлений, как спорт, культура, профобразование, до результативности участия в областных конкурсах «Золотые руки».

Всего на конкурсе за право быть лучшими соревновались по семи специальностям более 100 молодых рабочих 38 основных предприятий Нижегородской области.