

УДК 621.431.73

EDN QСJKFJ

Р.В. Шкарин, А.Д. Кустиков, М.Г. Корчажкин
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ И КОРРЕКТИРОВАНИЕ
ПЕРИОДИЧНОСТИ ПО ЗАМЕНЕ ТЕРМОСТАТА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

Рассмотрены причины отказа работы термостата, его строение и виды. Проведен сбор данных наработки до отказа автомобиля марки *Ford Focus*. Проанализирован характер отказов термостата. Выполнен подробный анализ неисправностей и отказов термостата при его эксплуатации. Рассмотрено его строение и существующие виды конструкций систем охлаждения. Определено значение оптимальной периодичности технического обслуживания (ТО) системы охлаждения передач и термостата. Практическое значение работы определяется ростом в настоящее время числа подержанных автомобилей, которым требуется качественное обслуживание и проведение ТО.

Ключевые слова: периодичность, техническое обслуживание, отказ, система охлаждения, надежность.

Техническое обслуживание (ТО) системы охлаждения автомобиля заключается в проверке уровня охлаждающей жидкости и отсутствия следов утечек, состояния и натяжения приводных ремней, состояния и правильности работы водяного насоса, вентилятора, датчика температуры охлаждающей жидкости и указателя температуры.

Рассмотрим виды и особенности ТО автомобилей. При ежедневном техническом обслуживании (ЕТО) автомобиля проверяют уровень охлаждающей жидкости и отсутствие следов утечек. Охлаждающую жидкость доливают по мере необходимости. При первом техническом обслуживании (ТО-1) проверяют: герметичность соединений и, при необходимости, устраняют следы утечек, состояние и натяжение приводных ремней и, если это необходимо, регулируют их натяжение. При втором техническом обслуживании (ТО-2) проверяют: герметичность системы охлаждения и при необходимости устраняют утечки; проверяют крепления радиатора, водяного насоса и натяжение ремня привода вентилятора; при необходимости регулируют натяжение ремня и подтягивают крепление; проверяют крепление вентилятора, работу датчика и указателя температуры охлаждающей жидкости; проверяют работу включения вентилятора и работу термостата.

Основными неисправностями системы охлаждения автомобиля являются: неисправная помпа, засорение радиатора, неисправность вентилятора охлаждения, разгерметизация системы, некорректная работа термостата, неисправность датчика температуры. Главным признаком неисправности охлаждения автомобиля являются быстрый перегрев двигателя или снижение уровня охлаждающей жидкости. Основные способы устранения в зависимости от причины: долив охлаждающей жидкости до нормы, регулировка натяжения ремня вентилятора, ремонт водяного насоса, проверка (и при необходимости замена) термостата, промывка радиатора.

Повышенный расход охлаждающей жидкости может указывать на повреждение радиатора, неисправность клапана пробки радиатора, повреждение прокладки пробки радиатора, утечку через соединения в системе охлаждения двигателя и в системе отопления. В зависимости от повреждения устраняется и основная причина неисправности.

Термостат служит для автоматического поддержания определенной температуры в контуре жидкостной системы охлаждения двигателя. Некорректная работа термостата требу-

ет его замены. Цель данной работы состоит в определении оптимальной периодичности по замене термостата методом определения оптимальной периодичности по допустимому уровню безотказности. Объектом разработки является термостат автомобиля *Ford Focus* (рис. 1).



Рис. 1. Термостат

Термостат – это регулятор температуры охлаждающей жидкости (антифриза) в системе охлаждения двигателя. Он ускоряет прогрев двигателя и поддерживает нужный ему тепловой режим работы. Один из патрубков подводит к нему охлаждающую жидкость от основного радиатора, другой служит для перепуска антифриза из двигателя, а третий направляет поток жидкости к водяному насосу.

Рассмотрим особенности его конструкции. Внешне термостат *Ford Focus* – небольшое устройство с двумя шлангами. Один из них подсоединяется к двигателю, другой – к радиатору. Также на корпусе термостата располагается датчик температуры, который сообщает информацию на крыльчатку вентилятора для поддержания оптимальной температуры двигателя. Термостат построен на принципе расширения и сжатия воска. Внутри термостата находится воск, который при нагревании расширяется, давление затворяет клапан, движущийся при изменении температуры. Таким образом, термостат ограничивает поток охлаждающей жидкости и поддерживает постоянную температуру двигателя.

Термостат в автомобильной системе охлаждения ответственен за поддержание оптимальной температуры двигателя. Основными элементами термостата являются:

- корпус – изготовлен из нержавеющей стали или пластика, служит для хранения и защиты основных элементов термостата;
- пружина – определяет температуру открывания и закрывания термостата;
- клапан – открывается и закрывается под действием пружины, что позволяет правильно распределять тепло в двигателе;
- штифт – крепит клапан и пружину в корпусе термостата.

При правильной работе термостат контролирует температуру охлаждающей жидкости, не допуская перегрева двигателя. Ремонт или замена термостата может потребоваться в случае его поломки или износа. Система охлаждения служит для отвода тепла от наиболее нагретых деталей двигателя, поддерживая в системе оптимальную температуру.

Существует три вида систем охлаждения:

- 1) жидкостная (применяется закрытая жидкостная система охлаждения, связанная с атмосферой через клапан, избыточное давление в системе позволяет увеличить температуру кипения жидкости, что исключает излишнее парообразование);
- 2) воздушная (открытого типа);
- 3) комбинированная.

При воздушном охлаждении рубашка цилиндра свободно обдувается воздухом, который отбирает большую часть тепла двигателя. Недостаток системы заключается в маленькой теплоемкости воздуха, что не позволяет равномерно отводить от двигателя большое количество тепла и, соответственно, создавать компактные мощные силовые установки. При жидкостном охлаждении цилиндры двигателя охлаждаются жидкостью, после чего она возвращается в расширительный бачок. Комбинированная система сочетает вышеуказанные систе-

мы: тепло от цилиндров отводится жидкостью, после чего на удалении от теплонагруженной части двигателя охлаждается в радиаторах воздухом. Данная система состоит из рубашки охлаждения блока цилиндров, головки блока цилиндров, одного или нескольких радиаторов, вентилятора принудительного охлаждения радиатора, жидкостного насоса, термостата, расширительного бачка, соединительных патрубков и датчика температуры. Этот тип используется на всех современных автомобилях. Охлаждающая жидкость прокачивается насосом через рубашку охлаждения двигателя, забирая от нее тепло, а затем охлаждается сама в радиаторе. В этой системе существует два круга циркуляции жидкости – большой и малый.

Задачей настоящей работы было определение оптимальной периодичности l_0 по замене термостата автомобиля *Ford Focus*, если даны наработки до отказа X_i (км) этого элемента у автомобилей в виде выборки (табл. 1) и допустимая вероятность безотказной работы $P_d = 0,98$ ($F_d = 0,02$), $N = 30$ – количество подконтрольных автомобилей.

Таблица 1.
Наработки до отказа выборки автомобилей

90000	96210	102420	108630	114840
91035	97245	103455	109665	115875
92070	98280	104490	110700	116910
93105	99315	105525	111735	117945
94140	100350	106560	112770	118980
95175	101385	107595	113805	120015

Решение

1. Произведена статистическая оценка закона распределения данной выборки и определены ее основные статистические параметры.

1.1. Разбивается весь диапазон значений наработок на отказ автомобилей выборки на интервалы: $I = 2 \cdot \sqrt[4]{N} = 2 \cdot \sqrt[4]{30} \approx 5$ – число интервалов; $\Delta X = (X_{\max} - X_{\min})/I \approx 6003$ км) – шаг интервала.

1.2. Производится статистическая обработка наработок до отказа (табл. 1), где m_i^I – число отказов в интервале; W_i^I – частость; F_i^I – оценка вероятности отказа; f_i^I – оценка плотности вероятности отказа; P_i^I – оценка вероятности безотказной работы; X_i – середина интервала:

$$W_i^I = \frac{m_i^I}{N}; F_i^I = \frac{\sum m_i^I}{N}; P_i^I = 1 - F_i^I; f_i^I = \frac{\sum m_i^I}{\Delta X N} (10^{-3}).$$

Таблица 2.
Статистическая обработка данных

№ п/п	X (границы)	X_i	m_i^I	$\sum m_i^I$	W_i^I	F_i^I	$f_i^I \cdot (10^{-3})$	$P_i^I = 1 - F_i^I$
1	96003	93001,5	2	2	0,067	0,067	0,011	0,933
2	102006	99004,5	4	6	0,133	0,200	0,033	0,800
3	108009	105007,5	10	16	0,333	0,533	0,089	0,467
4	114012	111010,5	8	24	0,267	0,800	0,133	0,200
5	120015	117013,5	6	30	0,200	1,000	0,167	0,000

Определяются основные оценки распределения наработок на отказ исследуемого КЭ автомобиля:

– средняя наработка до отказа (км)

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^5 X_i W_i^l = 6200,10 + 13200,60 + 35002,50 + 29602,80 + 23402,70 = 107408,70 \text{ км.}$$

– дисперсия распределения:

$$D = \sum_{i=1}^5 (X_i - \bar{X})^2 W_i^l = 13837827,46 + 9417410,35 + 1921920,48 + 3459456,86 + 18450436,61 = 47087051,76 \text{ км.}$$

– среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации:

$$\sigma_X = \sqrt{D} = \sqrt{47087051,76} = 6862,00 \text{ км,} \quad \nu = \frac{\sigma_X}{\bar{X}} = \frac{6862}{6003} = 0,14.$$

1.3. Строится гистограмма плотности распределения отказов и выдвигаем гипотезу о законе распределения случайной величины X (рис. 2).

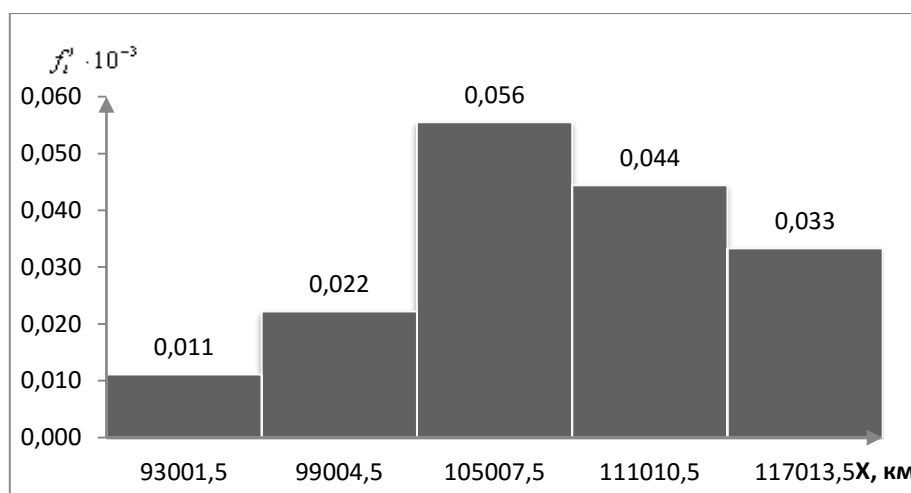


Рис. 2. Гистограмма плотности распределения отказов

На основании построенной гистограммы выдвинуто предположение, что закон распределения данных наработок до отказа нормальный.

2. Проверка соответствия опытных данных нормальному закону распределения.

2.1. Определены теоретические значения параметров выборки. В качестве параметров нормального закона распределения принимаются \bar{X} и σ . Таким образом, опытное распределение описано нормальным законом вида:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\bar{X})^2}{2\sigma^2}}, \quad f(X) = \frac{1}{6862\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-107408,70)^2}{2 \cdot 6862^2}},$$

$$F_i = F\left(\frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}\right) - \text{нормированная функция [1].}$$

Строим табл. 3, где $m_i = f_i \Delta X N$; $W_i = f_i \Delta X$; $P_i = 1 - F_i$.

Таблица 3.
Теоретические значения параметров выборки

№	X_i	$f(X) \cdot 10^{-4}$	m_i	W_i	F_i	P_i	$(m_i^l - m_i)^2 / m_i$
1	93001,5	0,064	1,16	0,039	0,04	0,96	0,617
2	99004,5	0,275	4,95	0,165	0,20	0,80	0,181
3	105007,5	0,547	9,85	0,328	0,53	0,47	0,002
4	111010,5	0,507	9,12	0,304	0,84	0,16	0,138
5	117013,5	0,218	3,93	0,131	0,97	0,03	1,089

2.2. Проверка соответствия выборки нормальному закону по критерию согласия Хи-квадрат (Пирсона):

$$\chi_{\text{оп}}^2 = \sum_1^5 \frac{(m_i^I - m_i)^2}{m_i} = 0.617 + 0.181 + 0.002 + 0.138 + 1.089 = 2.027.$$

– определяется степень свободы: $k = n - (r + 1) = 5 - (2 + 1) = 2$,

где n – число интервалов; r – число параметров в законе (у нормального закона это \bar{X} и σ);

– для $k = 2$ и вероятности $P(\chi^2) = \alpha = 0.1$ того, что закон выбран правильно, найдено теоретическое значение $\chi_{\alpha}^2 = \chi_{0.1}^2 = 4.61$ из соответствующей таблицы [2];

– сравнивается полученное теоретическое значение χ_{α}^2 с опытным значением. Поскольку $\chi_{\text{оп}}^2 < \chi_{\text{теор}}^2$, делаем вывод о правильности гипотезы, что распределение подчиняется нормальному закону.

3. Находится оптимальная периодичность обслуживания исследуемого КЭ автомобиля l_0 :

– с использованием данных табл. 3 построен график $f(X) \cdot 10^{-3}$ (рис. 3).

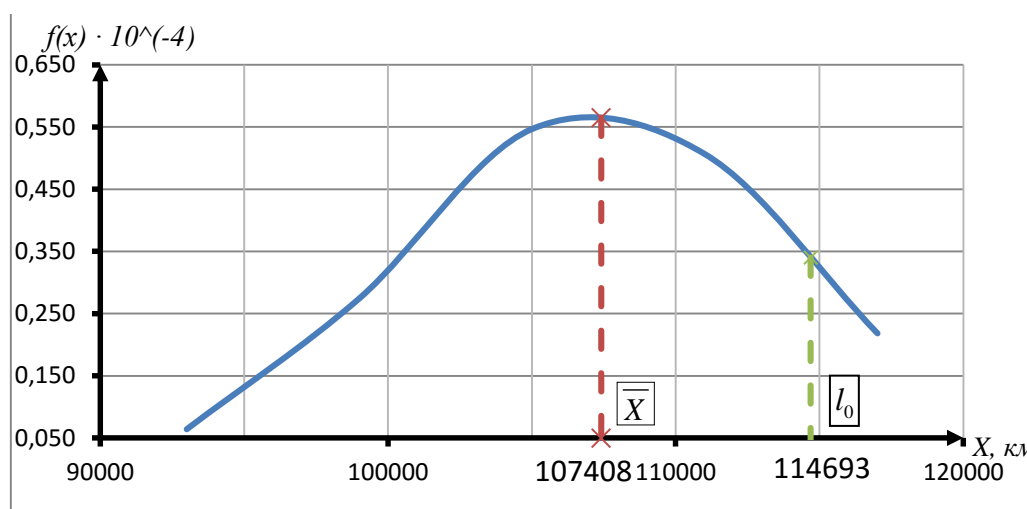


Рис. 3. График плотности вероятности отказов

– вероятность отказа исследуемого КЭ (риск) определяется по выражению:

$$F_D = \int_0^{l_0} f(X) dX = F\left(\frac{l_0 - \bar{X}}{\sigma}\right);$$

– принимается величина риска $F_D = 0.8 - 0.9$ (как для КЭ автомобиля, отвечающего за безопасность дорожного движения);

– из таблицы нормального распределения получено:

$$1. \quad F(z) = 0.8, \quad z = 0.88, \quad \text{тогда} \quad \frac{l_0 - \bar{X}}{\sigma} = 0.88,$$

$$l_0 = 0.88 \cdot \sigma + \bar{X} = 0.88 \cdot 6862 + 107408 = 113446 \text{ км.}$$

$$2. \quad F(z) = 0.85, \quad z = 1.01, \quad \text{тогда} \quad \frac{l_0 - \bar{X}}{\sigma} = 1.01,$$

$$l_0 = 1.01 \cdot \sigma + \bar{X} = 1.01 \cdot 6862 + 107408 = 114338 \text{ км.}$$

3. $F(z) = 0.9$, $z = 1.295$, тогда $\frac{l_0 - \bar{X}}{\sigma} = 1.295$,

$$l_0 = 1.295 \cdot \sigma + \bar{X} = 1.295 \cdot 6862 + 107408 = 116295 \text{ км.}$$

Среднее значение: $(113446 + 114338 + 116295) / 3 = 114693$ км.

Таким образом, оптимальная периодичность проведения ТО рассматриваемой операции составляет $l_0 = 114693$ км.

Произведена корректировка полученного значения периодичности операции для города Нижний Новгород по формуле:

$$L_i = L_{i(H)} \cdot k_1 \cdot k_3 \quad (1)$$

где L_i – расчетное значение периодичности ТО i -ого вида, км;

$L_{i(H)}$ – нормативная периодичность ТО i -ого вида, км;

k_1 – коэффициент, учитывающий категорию эксплуатации автомобилей (III категория – $k_1 = 0,8$)

k_3 – коэффициент, учитывающий климатический район (умеренный – $k_3 = 1$).

Таким образом, оптимальная периодичность операции по замене термостата автомобиля *Ford Focus* составила:

$$L_i = 114693 \cdot 0,8 \cdot 1 = 91755 \text{ км.}$$

Библиографический список

1. **Корчажкин, М.Г.** Совершенствование нормативов технической эксплуатации городских автобусов / М.Г. Корчажкин, Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 4 (97). С. 168-174.
2. **Кузьмин, Н.А.** Исследование долговечности работы агрегатов трансмиссий городских автобусов / Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков // Материалы 79-ой научно-технической конференции «Безопасность транспортных средств в эксплуатации». – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. С.12-13.
3. **Кузьмин, Н.А.** Научные основы процессов изменения технического состояния автомобилей: монография / Н.А. Кузьмин, Г.В. Борисов. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е.Алексеева, – Н. Новгород, 2012. – 270 с.
4. **Кузьмин, Н.А.** Диагностика современных автомобилей / Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков – М: Инфра-М, Высшее образование. Магистратура, 2021. – 229 с.
5. **Кустиков, А.Д.** Повышение долговечности рулевых реек путем корректирования периодичности замены масла / Н.А. Кузьмин, Г.В. Борисов. – Оренбург: Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2022. № 6. С. 79-87.