

до значения, определяемого соотношением (22), т.е. обеспечить  $k_{PM} > 1$ . Однако при этом, как следует из (20), увеличиваются потери напряжения в распределительной линии. Поэтому предпочтительней, согласно (27), одновременно с полной компенсации РМ в узле потребления  $k_{PM} = 1$  создать натуральный режим работы распределительной линии, в котором РМ не потребляется, т.е.  $\Delta Q' = 0$ , например, путем уменьшения волнового сопротивления распределительной линии с помощью устройств поперечной емкостной компенсации [2]. В этом случае величина коэффициента поправки достигает максимального значения  $k_{\Pi} = 1$ , а пропускная способность реальной распределительной линии возрастет в (1,33–1,67) раза до уровня пропускной способности «идеальной» распределительной линии без потерь РМ.

### ВЫВОДЫ

Для увеличения пропускной способности и минимизации потерь напряжения в распределительной линии необходима не только полная компенсация реактивной мощности потребителей, но и потерь реактивной мощности в распределительной линии за счет создания натурального режима передачи электроэнергии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электротехнический справочник: В 3 т. Т. 3. В 2 кн. Кн. 1. Производство и распределение электрической энергии (Под общ. ред. профессоров МЭИ: И.Н.Орлова (гл. ред.) и др.) 7-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 800 с.
2. Герасименко, А. А. Передача и распределение электрической энергии // Герасименко А.А., Федин В.Т. – Изд. 2-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 715 с.

## ANALYSIS OF DISTRIBUTION LINE'S THROUGHPUT SUBJECT TO JET POWER LOSSES

© 2012

*A.A. Kuvshinov*, doctor of technical sciences,  
professor of the chair «Power supply and electrical engineering»  
*Togliatti State University, Togliatti (Russia)*

*Keywords:* distribution line; jet power losses; throughput.

*Annotation:* Influence of jet power losses on the operating conditions of distribution line is studied. The author shows that throughput can be increased (1.33–1.67) times due to equalizing of jet power consumed by distribution line.

УДК 629.113

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© 2012

*В.С. Малкин*, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»  
*Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)*

*Ключевые слова:* техническая диагностика; оптимальная периодичность диагностирования.

*Аннотация:* Получена формула для расчета оптимальной периодичности диагностирования технической системы (автомобиля), обеспечивающей минимум суммарных удельных затрат на диагностику и устранение последствий отказов.

### ВВЕДЕНИЕ

Информация о скрытых или назревающих отказах технической системы, получаемая при ее диагностировании, позволяет предотвратить преждевременный или

запоздалый ремонт технической системы. Определение оптимальной периодичности диагностирования является важной практической задачей, которую можно решить используя технико-экономический подход.

Цель работы – обосновать метод расчета периодичности диагностирования технической системы (автомобиля), обеспечивающего минимум суммарных удельных затрат на диагностические и профилактические работы и устранение возникших отказов.

**СУЩНОСТЬ МЕТОДА**

Затраты на диагностирование и сопутствующие профилактические работы по поддержанию технической системы в исправном состоянии обозначим  $C_D$ . В состав затрат  $C_O$ , связанных с устранением возникшего (уже проявившегося) отказа, входят не только расходы на ремонт, но и другие издержки как следствие отказа – аварийные ситуации, срывы графика производственного процесса и т.п.

Отказы технической системы являются следствием отказов ее элементов. В этом случае наработка (время между отказами, как результат процесса без последствий, является случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону  $F(t)=1 - \exp(-\lambda t)$ , где  $t$  – наработка,  $\lambda = 1/T_O$  – параметр распределения, характеризующий интенсивность потока отказов. При известной средней наработке на отказ технической системы  $T_O$ , вероятность того, что отказ произойдет до момента очередного диагностирования  $T_D$ , будет равна  $F(T_D) = 1 - \exp(-T_D/T_O)$ .

При выбранном значении периодичности диагностирования  $T_D$  суммарные удельные затраты выражаются формулой:

$$C_{\Sigma} = \frac{C_D}{T_D} + \frac{C_O}{T_O} (1 - \exp(-T_D/T_O)). \quad (1)$$

Очевидно, что при  $T_D \rightarrow 0$  удельные затраты  $C_{\Sigma} \rightarrow \infty$ , а при  $T_D \rightarrow \infty$  атрагы  $C_{\Sigma} \rightarrow C_O/T_O$ . Проверим зависимость удельных затрат (1) на наличие экстремума из условия  $\frac{dC_{\Sigma}}{dT_D} = 0$ , т.е.

$$\frac{dC_{\Sigma}}{dT_D} = -\frac{C_D}{T_D^2} + \frac{C_O}{T_O} (\exp(-T_D/T_O)) = 0. \quad (2)$$

Для удобства решения введем в рассмотрение величину  $x = T_D/T_O$ , тогда формула (2) примет вид:

$$-\frac{C_D}{x^2 T_O^2} + \frac{C_O}{T_O} e^{-x} = 0, \text{ или } x^2 e^{-x} - C_D/C_O = 0. \quad (3)$$

Уравнение (3) является трансцендентным и не имеет точного аналитического решения. Для приближенного решения воспользуемся методом Ньютона (методом касательных) [1]. Решение может быть найдено по формуле:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)},$$

где  $x_n$  – приближенное значение корня уравнения;

$x_{n+1}$  – искомое значение корня уравнения;

$f(x_n)$  и  $f'(x_n)$  – значение функции и ее производной при  $x_n$ .

Для отыскания  $x_n$  упростим выражение суммарных удельных затрат по формуле (1), приняв линейное нарастание вероятности отказа технической системы на интервале наработки  $T_D$ :  $F(t)=t/T_O$ . В этом случае уравнение (1) примет вид:

$$C_{\Sigma} = \frac{C_D}{T_D} + \frac{C_O}{T_O} \cdot \frac{T_D}{T_O}. \quad (4)$$

Беря производную от уравнения (4) и приравнявая ее нулю, находим корень полученного уравнения:  $T_D/T_O = x = \sqrt{C_D/C_O}$ . Далее используем это выражение как приближенное значение корня  $x_n$  уравнения (3). Выразим производную этого уравнения и для удобства записи введем обозначение  $a = C_D/C_O$ . После подстановки  $x_n$  и  $a$  в формулу

Ньютона и некоторых преобразований получим аналитическое выражение оптимальной периодичности:

$$T_D^{opt} = T_O \frac{\sqrt{a}}{2 - \sqrt{a}} (1 - \sqrt{a} + e^{\sqrt{a}}). \quad (5)$$

**АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ПОЛУЧЕННОЙ ФОРМУЛЫ**

Используя программу Excel оптимальную периодичность диагностирования технической системы можно найти путем численного решения уравнения (1) перебирая значения  $T_D$  и находя минимальное значение  $C_{\Sigma}$ . Пример такого решения при затратах на диагностирование  $C_D=0,5$  некоторых условных единиц,  $a=0,01$  и  $T_O=500$  часов приведен на рис. 1.

Анализируя рис. 1 можно отметить, что кривая в области экстремума пологая и более точно  $T_D^{opt}$  может быть найдена только по получаемым численным значениям, отличающимся в третьем или четвертом знаке после запятой. О сопоставимости результатов определения оптимальной периодичности путем численного решения и по полученной формуле (5) можно судить по графику изменения  $x = T_D^{opt}/T_O$  в зависимости от отношения затрат  $C_D/C_O$  (рис. 2).

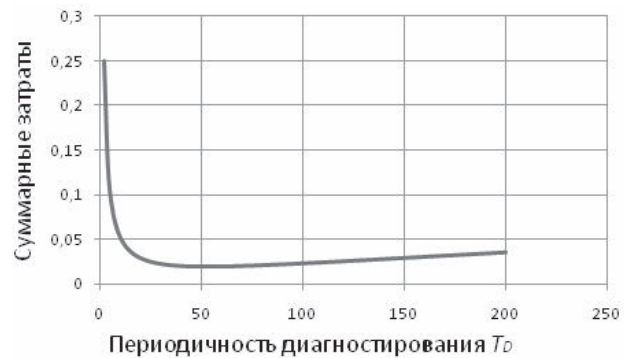


Рис. 1. Изменение удельных суммарных затрат для случая, когда затраты на диагностику в 100 раз меньше затрат при отказе технической системы.

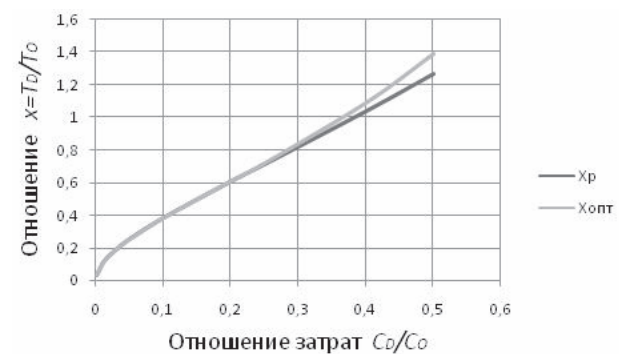


Рис. 2. Соотношение результатов определения оптимальной периодичности диагностирования технической системы путем численного решения (Хопт) и по предлагаемой расчетной формуле (Хр).

Из рис. 2 следует, что в интервале отношения  $0,001 < C_D/C_O < 0,3$  наблюдается практически полное совпадение результатов двух способов определения оптимальной периодичности диагностирования технической системы. В тех случаях, когда затраты от отказа технической системы превышают затраты на ее диагностирование менее чем в 3 раза результаты расчетов начинают отличаться. Для случая, когда затраты на диагностирование

составляют половину затрат от отказа погрешность определения оптимальной периодичности по предлагаемой формуле составляет 8,7%. Следует отметить, что последнее не имеет большого значения, так как на практике назначать периодичность диагностирования большую средней наработки на отказ технической системы никто не будет.

Таким образом, полученная формула (5) может быть применена для расчета оптимальной периодичности диагностирования технических систем (автомобилей в частности) и позволяет понять, от чего зависит величина оптимальной периодичности.

**ВЫВОДЫ**

1. Оптимальная периодичность диагностирования прямо пропорционально связана со средней наработкой на отказ технической системы.

2. Отношение оптимальной периодичности диагностирования к средней наработке на отказ технической системы зависит только от отношения средних затрат на диагностирование и профилактические работы по устранению обнаруженных неисправностей к средним затратам от отказов технической системы.

3. На интервале отношений затрат  $0,001 < C_D / C_O < 0,3$  отношение периодичности диагностирования к средней

наработке на отказ возрастает практически линейно, поэтому для нахождения оптимальной периодичности диагностирования вместо формулы (5) можно воспользоваться упрощенной эмпирической формулой:  $T_D^{opt} = T_O (0,11 + 2,48 C_D / C_O)$ . Поскольку зависимость по формуле (1) в районе экстремума весьма пологая, расчет по упрощенной формуле не будет приводить к существенному снижению точности результата.

4. Вывод формулы оптимальной периодичности диагностирования производился для технической системы, отказ которой происходит из-за отказа любого элемента, входящего в систему, а наработки до отказа элементов не связаны друг с другом. Если диагностирование проводят с целью оценки состояния конкретного элемента, ресурс которого распределен по закону, отличающемуся от экспоненциального (например, по нормальному закону или закону Вейбулла с небольшим коэффициентом вариации), то полученные выражения оптимальной периодичности диагностирования могут рассматриваться как приближенные.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Соболь Б.В.* Практикум по вычислительной математике / Б.В. Соболь, Б.Ч. Месхи, И.М. Пешхоев. — Ростов н/Д: Феникс, 2008. — 342 с.

**DEFINITION OF OPTIMUM PERIODICITY OF DIAGOSING**

© 2012

*V.S. Malkin*, candidate of technical sciences,  
associate professor of the chair «Projection and maintenance of cars»  
*Togliatti State University, Togliatti (Russia)*

*Keywords:* technical diagnostic; optimum periodicity of diagnosing.

*Annotation:* The formula for calculating the optimal frequency of diagnosis of technical systems (automobile), which provides a minimum total cost per diagnosis and elimination of consequences of failure.

УДК 621.43

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ВОДОРОДА НА ПОКАЗАТЕЛИ ДВС ПРИ ГЕТЕРОГЕННОМ СПОСОБЕ ФОРМИРОВАНИИ ТВС**

© 2012

*Д.А. Павлов*, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Энергетические машины и системы управления»  
*Л.Н. Бортников*, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Энергетические машины и системы управления»  
*Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти (Россия)*

*Ключевые слова:* водород; гетерогенное горение; ДВС; топливовоздушная смесь (ТВС); экономические показатели; токсичность.

*Аннотация:* исследуется влияние добавок водорода на экономические и экологические показатели двигателя внутреннего сгорания при гетерогенном способе формирования ТВС.