بهینهٔ تواتر بازرسی‌های نگهداری برای درجهٔ معین قابلیت اطمینان

دکتر نظام‌الدین فقیه

استادیار دانشگاه شیراز

چکیده:

مقاله حاضر موضوع تعیین بهینهٔ تواتر (یا تناوب) بازرسیهای نگهداری را برای حصول به‌درجه معینی ازقابلیت اطمینان مورد بحث و بررسی قرار می‌دهد. زمان بهینه انجام بازرسی چنان تعیین می‌گردد که قابلیت اطمینان کار دستگاه در فواصل بازرسیهای نگهداری از حداقل مقدار مطلوب تنزل نیابد و در سطح معقول کنترل شود. بدین‌منظور، مدل ریاضی بهینه‌یابی تواتر بازرسیها مورد تحلیل قرار می‌گیرد و امکان ایجاد تغییر در مدل برحسب تغییر شرایط و یا نوع دستگاه، ازنظر می‌گذرد.

Preventive Inspection Optimal Frequency for Specified Reliability

N. Faghih, ph. D.

Shiraz University

ABSTRACT

This paper deals with an approach to determine the optimal frequency of the preventive Maintenance Inspections in order to achieve a specified degree of Reliability for industrial equipment. Hence, the mathematical model for analysis and optimization of Inspection Frequency (or period) is derived and introduced. The possibility of the required changes in the models, according to the condition variabilities, is also discussed.

شرح مقاله:

بازرسیهای نگهداری مرحله قابل توجهی از مجموع اقدامات نگهداری را می‌توانند تشکیل دهند. در نتیجه این‌گونه بازرسیها است که می‌توان به‌نقایص موجود در قطعات و دستگاهها و یا حتی اشکالات و معایب در شرف تکوین پی برد. بدیهی است که در صورت لزوم می‌بایست نسبت به‌تعویض قطعات، تعمیر و یا هر نوع اقدام لازم مبادرت ورزید.

در مواردی که دستگاهی در سیستم تولید حائز اهمیت زیاد است باید در نگهداری آن دستگاه دقت فراوان مبذول داشت. از جمله باید با بازرسی‌هائی که به‌صورت دوره‌ای انجام می‌شود ازوضعیت دستگاه اطلاع لازم به‌دست آید و سپس درصورت نیاز در فرصت مناسب نسبت به‌رفع اشکال اقدام گردد.

تعیین بهینه تواتر بازرسیها معمولا" ممکن است با توجه به عوامل گوناگون صورت پذیرد. در صنایعی که ازحساسیت‌های‌خاص‌برخوردارند، تعیین بهینه تواتر بازرسیها می‌تواند برای حصول به‌درجه معینی از قابلیت اطمینان کارکرد دستگاهها مورد نظر قرار گیرد. در این‌مقاله، موضوع انتخاب تواتر بازرسیها برای دستیابی به‌درجه‌معینی از قابلیت اطمینان در انتهای هر فاصله بازرسی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. البته به‌طریق مشابه، تعیین بهینه تواتر بازرسیها برای به‌حداقل رسانیدن

زمان خوابیدگی دستگاهها نیز امکان‌پذیر است .

بنابراین، ابتدا محاسبه قابلیت اطمینان در انتهای فواصل بازرسیها و سپس مدل ریاضی تعیین اپتیمال تواتر بازرسیها برای کسب قابلیت اطمینان معین ، از نظر خواهد گذشت .

۱ ــ قابلیت اطمینان در انتهای فواصل بازرسیها

چنانچه برای دستگاهی با قابلیت اطمینان (t) R ، تابع چگالی احتمال زمانهای شکست با (t) P نشان داده شود ، میزان شکست به صورت زیر تعریف خواهد شد :

$$r(t) = P(t)/R(t) \qquad (۱)$$

همچنین رابطه بین تابع قابلیت اطمینان و تابع چگالی احتمال زمانهای شکست به‌صورت زیر است :

$$R(t) = 1 - \int_0^t P(t)\,dt \qquad (۲)$$

که مشتق‌گیری از این رابطه نتیجه می‌دهد :

$$dR(t)/dt = - P(t) \qquad (۳)$$

و از جایگزینی رابطه (۳) در رابطه (۱) نتیجه می‌شود :

$$dR(t)/dt = - R(t)\, r(t) \qquad (۴)$$

رابطه فوق را می‌توان به‌صورت زیر نوشت :

$$dR(t)/R(t) = -r(t)dt \qquad (۵)$$

و از آن انتگرال‌گیری نمود :

$$\int_0^t dR(t)/R(t) = -\int_0^t r(t)dt \qquad (۶)$$

یا :

$$[\ell nR(t)]_0^t = -\int_0^t r(t)dt \qquad (۷)$$

یعنی :

$$\ell nR(t) - \ell nR(0) = -\int_0^t r(t)dt \qquad (۸)$$

با توجه به‌این که قابلیت اطمینان در مبداء زمان برابر واحد است ، $R(0) = 1$ لذا $\ell nR(0) = 0$ ، بنابراین :

$$\ell nR(t) = -\int_0^t r(t)dt \qquad (۹)$$

یا به‌عبارت دیگر :

$$R(t) = \exp[-\int_0^t r(t)dt] \qquad (۱۰)$$

در شرایطی که میزان شکست مقدار ثابت باشد ، رابطه فوق به صورت زیر تقلیل می‌یابد :

$$R(t) = \exp[-\int_0^t \lambda dt] = \exp(-\lambda t) \qquad (۱۱)$$

که ضمناً متعلق به‌حالتی است که‌توزیع زمانهای شکست از تابع احتمال نمائی تبعیت نماید .

در دوران کار نرمال دستگاهها ، می‌توان فرض نمود که‌میزان شکست در فاصله بین بازرسیها ثابت بماند و توزیع زمانهای شکست از تابع احتمال نمائی پیروی نماید . از طرفی ، بدیهی است که در صورت افزایش تواتر بازرسیها ، میزان شکست کاهش می‌یابد . لذا میزان شکست ، $\lambda(n)$ ، تابعی(نزولی) از تواتر بازرسیها ، n ، خواهد بود . بنابراین رابطه (۱۱) به‌صورت زیر نوشته خواهد شد :

$$R(t) = \exp[-\lambda(n)t] \qquad (۱۲)$$

آنگاه به‌فرض آنکه پس از انجام هر عمل بازرسی ، دستگاه در شرایط عملکرد مطلوب خود قرار گیرد ، قابلیت اطمینان دستگاه در انتهای فاصله بازرسیهای متوالی عبارت است از :

$$R(T_i) = \exp[-\lambda(n)t]_{t=T_i} = \exp[-\lambda(n)T_i] \qquad (۱۳)$$

که T_i تناوب بازرسیهای متوالی می‌باشد ، یعنی :

$$T_i = \frac{1}{n} \qquad (۱۴)$$

زیرا n تواتر بازرسیها بوده و به‌عبارت دیگر تعداد n عمل بازرسی در واحد زمان انجام می‌گیرد .

رابطه (۱۳) پس از جایگزینی از رابطه (۱۴) به‌صورت زیر نوشته می‌شود :

$$R(T_i) = \exp[-\lambda(n)/n] \qquad (۱۵)$$

بنابراین با دانستن تواتر بازرسیها (n) و مشخص بودن تابع $\lambda(n)$ (رابطه‌بین میزان شکست و تواتر بازرسی) می‌توان ، با استفاده از رابطه (۱۵) ، قابلیت اطمینان را در انتهای هر فاصله‌بازرسی محاسبه کرد .

۲ ــ بهینه تواتر بازرسیها

اکنون تعیین بهینه تواتر بازرسیها برای کسب حداقلی از درجه قابلیت‌اطمینان مورد بررسی قرار می‌گیرد . چنانچه قرار باشد قابلیت اطمینان‌در فواصل بازرسی‌های متوالی و قبل از انجام بازرسی بعدی برابر مقدار معین R باشد(یا به‌عبارت‌دیگرقابلیت‌اطمینان‌درفواصل بازرسیها از حداقلی مانند R تنزل‌نیابد) . از رابطه (۱۵) خواهیم داشت :

$$R(T_i) = \exp[-\lambda(n)/n] = R \qquad (۱۶)$$

که به‌صورت زیر نوشته می‌شود :

$$\lambda(n) = -n\,\ell nR \qquad (۱۷)$$

معمولاً" شکل تابع $\lambda(n)$ می‌تواند در عمل برای هر دستگاه‌تعیین گردد (با استفاده از آمار موجود ، بایگانی ، تجارب ، آزمایش، . . . هنگامی که تابع $\lambda(n)$ مشخص‌باشد ، می‌توان با قرار دادن‌آن در رابطه (۱۷) ، مقدار n (بهینه‌تواتربازرسیها) را برای دستیابی‌به (حداقل) قابلیت اطمینان معین R محاسبه کرد .

به‌عنوان مثال چنانچه برای دستگاهی ، تابع $\lambda(n)$ به‌صورت زیر باشد :

$$\lambda(n) = \lambda(0)\exp[-n/\lambda(0)] \qquad (۱۸)$$

که $\lambda(0)$ میزان شکست دستگاه در صورت عدم اجرای عملیات بازرسی را نشان می‌دهد ، در این صورت با قرار دادن رابطه (۱۸) در رابطه (۱۷) خواهیم داشت :

$$\frac{n}{\lambda(0)} + \ell n\frac{n}{\lambda(0)} = -\ell n(-\ell nR) \qquad (۱۹)$$

یا چنانچه تابع $\lambda(n)$ از این قرار باشد :

$$\lambda(n) = \frac{\lambda^2(0)}{n + \lambda(0)} \qquad (۲۰)$$

به‌طریق مشابه معادله زیر به‌دست می‌آید :

$$n^2 + \lambda(0)\,n + \frac{\lambda^2(0)}{\ell nR} = 0 \qquad (۲۱)$$

آنگاه می‌توان با حل معادله (۱۹) یا (۲۱) یا مشابهات این معادلات ، بهینه تواتر بازرسی‌ها (n) راتعیین نمود . معادله (۲۱) که یک معادله درجه دوم است به‌سادگی قابل حل می‌باشد و برای حل

ادله (۱۹) نیز می‌توان از روش محاسبات عددی استفاده برد .

۱ــ مثال عددی

دستگاهی ، در صورت عدم انجام بازرسیهای نگهداری به‌طور توسط ۴ بار در سال نیاز به‌تعویض دارد . میزان شکست این دستگاه رنتیجه انجام بازرسیهای نگهداری کاهش می‌یابد و به‌نظر می‌رسد ه کاهش میزان شکست ازرابطه (۱۸) پیروی نماید . برای آن‌که دستگاه ورد نظر با قابلیت اطمینان حداقل ۹۸% عملکرد مطلوب داشته باشد ، سالیانه چند بار (با چه تناوبی) می‌بایست مورد بازرسی قرار گیرد ؟

برای حل مساله ، با توجه به‌این که کاهش میزان شکست از رابطه (۱۸) تبعیت دارد ، سپس با جایگزینی اعداد مساله در رابطه (۱۹) خواهیم داشت :

$$\frac{n}{4} + \ell n \frac{n}{4} = -\ell n (-\ell n\, 0.98)$$

یا :

$$\frac{n}{4} + \ell n \frac{n}{4} = 3.90$$

اکنون می‌بایست با حل معادله فوق ، مقدار n را تعیین نمود . برای حل این معادله از روشهای متعددی می‌توان استفاده کرد . به عنوان مثال جدول زیر می‌تواند به‌کار گرفته شود :

n	2	4	6	8	10	12	14
$\frac{n}{4} + \ln\frac{n}{4}$	−0.19	1.00	1.90	2.69	3.41	4.09	4.75

چنانکه از جدول فوق ملاحظه می‌گردد ، جواب معادله $n = 12$ است . یعنی به‌منظور عملکرد مطلوب دستگاه مورد نظر با قابلیت اطمینان حداقل ۹۸% می‌بایست سالیانه ۱۲ عمل بازرسی (هرماه یکبار)انجام گیرد .

۴ــ نتیجه

در آنچه گذشت ، موضوع تعیین بهینه تواتر (تناوب)بازرسیهای نگهداری برای کسب درجه معینی از قابلیت اطمینان مورد بحث و بررسی قرار گرفت . چنانکه ملاحظه گردید ، تعیین زمان بهینه انجام بازرسیها برای تامین حداقلی از درجه قابلیت اطمینان در عملکرد مطلوب دستگاهها ، امکان‌پذیر است . به‌عبارت دیگر می‌توان بهینه تواتر (یا تناوب) بازرسیها را چنان تعیین نمود که قابلیت اطمینان کار دستگاهها در فواصل بازرسیهای نگهداری از حداقل مقدار مطلوب تنزل نیافته و در سطح معقول کنترل شود . به‌این منظور لازم و کافی خواهد بود که رابطه‌ای بین تغییرات میزان شکست‌و تواتر بازرسیها برقرار ساخته و یا فرضیاتی را قائل گشت . سپس به‌سهولت مدل‌ریاضی بهینه‌یابی تواتر بازرسیها برای یک دستگاه مورد نظر به‌دست خواهد آمد .

منابع :

1. Kelly, A. ***Maintenance Planning and Control, Butterworths,1984.***
2. Jardine, A.K.S. ***Maintenance, Replacement and Reliability, Pitman, 1973.***
3. Sandler, G.H. ***System Reliability Engineering Prentice – Hall, 1963.***