

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 62-93

Е.К. Ешин

О КРИТЕРИЯХ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СРОК ИХ СЛУЖБЫ

Для решения конкретных задач оптимизации работы горных машин (например, очистного комбайна, скребкового конвейера) необходим критерий оптимизации (целевая функция). Вычисляемое значение этого критерия (функции) определит успех или неудачу предпринимаемых усилий по улучшению использования этих машин.

В большинстве случаев необходима связь критерия "срок службы объекта" с параметрами, характеризующими режим работы этих машин. Естественно, в такой постановке задача не нова.

Еще в 1838 году А.Вильгельм (Wilhelm Albert) опубликовал первую статью по усталости (металлов) [1,2]. Он сконструировал машину для испытания конвейерных цепей, используемых на шахтах Клаусталь. Он установил, что усталость не связана со случайными перегрузками, но зависит от нагрузки и числа повторений циклов нагрузки (*Wilhelm Albert publishes the first article on fatigue. He devised a test machine for conveyor chains used in the Clausthal mines. His finding was that fatigue was not associated with an accidental overload, but was dependent on load and the number of repetitions of load cycles*). Появилась (1870 г.) знаменитая кривая Велера (August Wöhler) [3].

В дальнейшем, начиная с 1924 г. А.Пальмгрен (Palmgren A. G.) [4] и далее в 1944 г. С.В.Серенсен [5], 1945 г. М.Майннер (Miner M.A.) [6], М.Я.Шашин [7] сформировали основы оценки долговечности объектов при изменяющейся амплитуде воздействий на него. Появилась гипотеза линейного накоплений повреждений, названная гипотезой Пальмгрена – Майнера.

В 60-е и начале 70-х годов прошлого века этой проблемой занимались, среди многих, Н.М.Седякин [8], Г.Д.Карташов [9,10]. В 2000 – е годы – А.В.Корнилова, К.В. Рощин, Д.Г.Федорченко [11,12,13] и другие.

Почти два века работы с условными названиями: метод оценки времени до разрушения при вибрационных воздействиях; оценка надежности изделий в переменном режиме нагружения; метод оценки ресурса деталей условиях многокомпонентного нагружения; оценка долговечности при изменяющейся амплитуде переменных напряжений; определение общей долговечности и остаточного ресурса объекта по критерию много цикловой усталости –

ставят целью получение ЧИСЛА (оценки времени, ресурса, долговечности, надежности). Это задачи чрезвычайной сложности, в том числе, вычислительной.

Однако, для специфических условий эксплуатации горных машин рассмотрим ее еще раз. Будем основываться на общих положениях по условиям сохранения объектами работоспособности.

Пусть имеется объект (рис. 1), состояние которого характеризуется в любой момент времени входной X и выходной Y , в общем случае, векторными величинами, а также совокупностью $\{W_i\}$ внешних и внутренних воздействий, ведущих к изменению физических переменных, определяющих оператор A элемента. Оператором A объекта может являться, например, его передаточная функция или математическая модель.

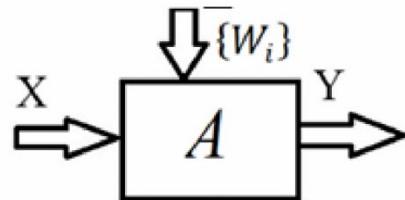


Рисунок 1. Укрупненная схема работы объекта

Совокупность $\{W_i\}$ определяет режим работы элемента. Условие нормального функционирования объекта можно записать в виде $Y = A_w[X]$.

При условии, что заданные выходные значения у сохраняются в определенных пределах изменения параметров, определяющих оператор A , будем иметь $Y_{H1} = \sup(A_w[X])$, $Y_{H2} = \inf(A_w[X])$, где $|Y_{H1} - Y_{H2}|$ – допустимый предел изменения выходного параметра. При этом изменение оператора A определим записью $- \Delta A$.

Примем множество $\{W_i\}$ за множество фазовых координат, определяющих некоторый вектор в пространстве. Состояние и режим работы элемента будут тогда определяться, в том числе, положением этого вектора. Возникновение отказа будет определяться изменением положения вектора (изменяющим оператор A).

Согласно гипотезе Пальмгрена - Майнера нормальная работа объекта будет наблюдаться до тех

пор, пока $\sum_{i=1}^n \partial A_i <= dA$ или за период времени(dt)

$$-\sum_{i=1}^n \frac{\partial A_i}{\partial t} dt <= dA.$$

В неноминальных условиях, когда $W_i \neq W_{in}$, условие обеспечения работоспособности запишется

в виде $\sum_{i=1}^n \frac{\partial A_i}{\partial t} \cdot \frac{W_i}{W_{in}} dt <= dA$. Перепишем послед-

нее выражение следующим образом:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial A_i}{\partial t} \cdot \frac{W_i}{W_{in}} \right) dt + \\ & + \sum_{i=k+1}^n \left(\frac{\partial A_i}{\partial W_i} \cdot \frac{\partial W_i}{\partial t} \cdot \frac{W_i}{W_{in}} \right) dt <= dA \end{aligned} \quad (1)$$

где k - количество постоянных воздействий, $(n-k)$ -

количество переменных воздействий, $\frac{\partial A_i}{\partial W_i}$ - харак-

теризует степень подверженности изменения переменных, определяющих оператор A изменениям W_i - го воздействия, $\frac{\partial W_i}{\partial t}$ - скорость изменения W_i .

Для временного интервала работоспособного состояния объекта $T = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m$ получим из (1)

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^k \frac{\partial A_i}{\partial t} \cdot \frac{W_i}{W_{in}} \Delta t_1 + \dots + \sum_{i=1}^k \frac{\partial A_i}{\partial t} \cdot \frac{W_i}{W_{in}} \Delta t_m + \\ & + \sum_{i=k+1}^n \frac{\partial A_i}{\partial W_i} \cdot \frac{\partial W_i}{\partial t} \cdot \frac{W_i}{W_{in}} \Delta t_1 + \dots + \\ & + \sum_{i=k+1}^n \frac{\partial A_i}{\partial W_i} \cdot \frac{\partial W_i}{\partial t} \cdot \frac{W_i}{W_{in}} \Delta t_m <= \Delta A \end{aligned}$$

Переходя от конечных приращений Δt_i к dt получим

$$\int_0^T \left(\sum_{i=1}^k \frac{\partial A_i}{\partial t} \cdot \frac{W_i}{W_{in}} \right) dt + \int_0^T \left(\sum_{i=k+1}^n \frac{\partial A_i}{\partial W_i} \cdot \frac{\partial W_i}{\partial t} \cdot \frac{W_i}{W_{in}} \right) dt \leq \Delta A,$$

или, для автономных объектов -

$$T = \frac{\Delta A}{\left(\sum_{i=1}^k \frac{\partial A_i}{\partial t} \cdot \frac{W_i}{W_{in}} + \sum_{i=k+1}^n \frac{\partial A_i}{\partial W_i} \cdot \frac{\partial W_i}{\partial t} \cdot \frac{W_i}{W_{in}} \right)} \quad (2)$$

Выражение (2) связывает между собой режим работы, определяемый значениями $\partial A_i / \partial t$, W_i , $\partial W_i / \partial t$, ресурс элемента, определяемый величиной ΔA и время до потери объектом работоспособности T . Понятно, что максимум для T наступает при $\partial W_i / \partial t = 0$, т.е. при отсутствии динамических воздействий на объект. Следовательно, (очевидный результат) в смысле работоспособности статический режим является наилучшим.

Выражение (2) справедливо для возмущений произвольной формы. В нашем случае наибольший интерес представляют периодические возмущения с

определенной частотой и амплитудой, поскольку в этих условиях работают практически все горные машины.

Реальное периодическое воздействие – усилие в тяговой цепи скребкового конвейера представлено на рис. 2, расчетное – на рис. 3.

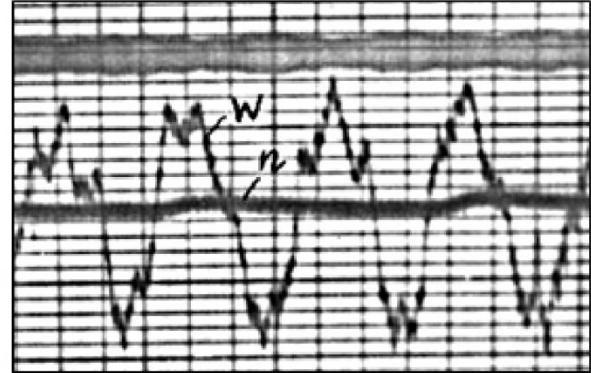


Рисунок 2 Характер изменения усилия в тяговой цепи скребкового конвейера (осциллограмма)

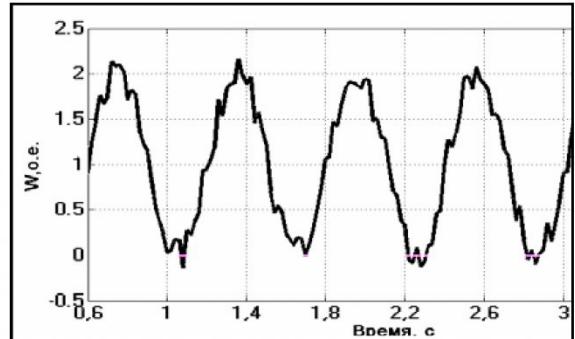


Рисунок 3 Характер изменения усилия в тяговой цепи скребкового конвейера (расчет)

На рис. 5 [14] и 4 представлены экспериментально полученные на универсальной испытательной машине МУП-50 результаты влияния на долговечность объекта периодических возмущений, иллюстрирующие подход Велера применительно к круглозвенным цепям скребковых конвейеров.

Из (2) также можно заключить, что главную роль в определении срока службы объекта играет величина отклонения (амплитуды) возмущающего воздействия от номинального и скорость его изменения.

Особенно нежелательно присутствие в характере изменения возмущающего воздействия (рис. 3, 6, 7) высших гармоник, которые имеют высокие значения $\partial W_i / \partial t$ (рис. 6), увеличивающие второе слагаемое знаменателя в (2).

Таким образом, имеется вполне определенная связь между T и конкретными характеристиками динамических воздействий на объект: частотой и амплитудой возмущения. Например, известно, что в электрических машинах гармонические отклонения тока от номинальных значений дают излишний нагрев и вибро-механический износ изоляции, что ведет к сокращению интервала работоспособного

состояния машины.

Кроме того, из (2) легко усматриваются необходимые "прямые" пути увеличения срока службы элементов - уменьшение частоты воздействий и снижение величины пульсаций воздействий.

Интересно отметить, что, анализируя (2) можно вспомнить два основных направления по пути повышения надежности горно - транспортных машин: первое - направленное на изменение качественных и количественных свойств элементов, второе - направленное на улучшение динамического состояния объекта.

В целом для систем об этом упоминал Р. Беллман [15] «...для улучшения работы системы можно изменить ее конструкцию, подействовать на нее извне или сделать одновременно и то и другое».

Применительно к горным машинам - Ю.Д. Красников [16] «...оптимизация может быть осуществлена при одновременном изменении как параметров сил резания, так и параметров самой машины.

Это говорит о том, что оптимизация должна осуществляться как в области параметров, так и в

области управления режимом».

Действительно, из (2) следует, что увеличение T может осуществляться двумя путями - путем роста ΔA (первое направление) или путем уменьшения $W_i, \partial W_i/\partial t$ (второе направление).

Следует упомянуть, что исключить полностью пульсации $\{W_i\}$ внешних и внутренних воздействий нельзя - можно говорить лишь о их минимально возможной величине.

Таким образом, основными рабочими критериями эффективности при рассмотрении эксплуатационных режимов горных машин и построении систем управления их состоянием целесообразно использовать критерии (например, квадратичные), характеризующие степень отклонения интересующей нас величины от задаваемого значения, полагая, что при минимизации их будет достигаться максимальный срок службы горно-транспортных машин. Отдельного внимания заслуживает проблема улучшения гармонического состава возмущающих воздействий.

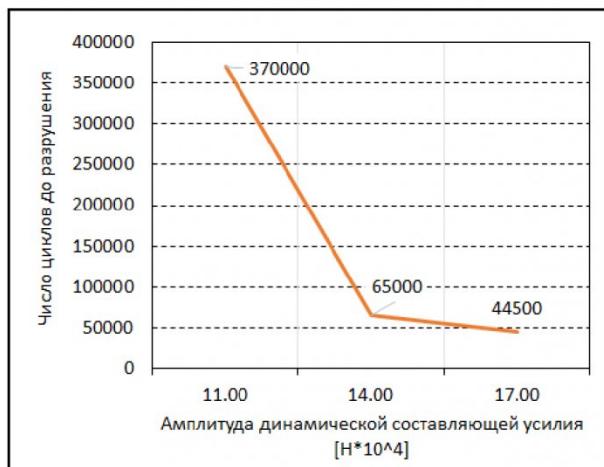


Рисунок 4 Кривая Велера для круглозвенной цепи скребкового конвейера калибра 24x86 мм

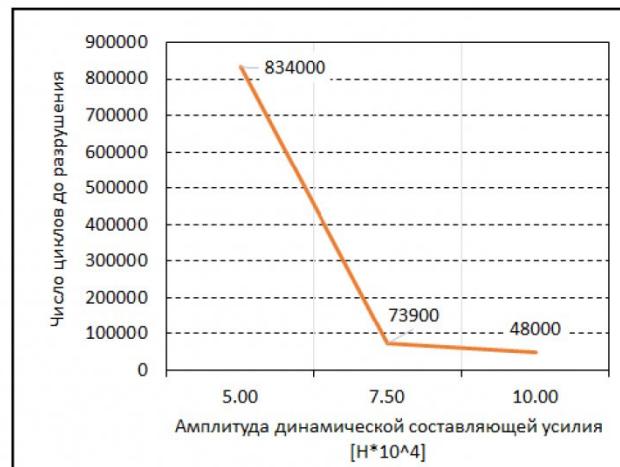


Рисунок 5 Кривая Велера для круглозвенной цепи скребкового конвейера калибра 18x64 мм [14]

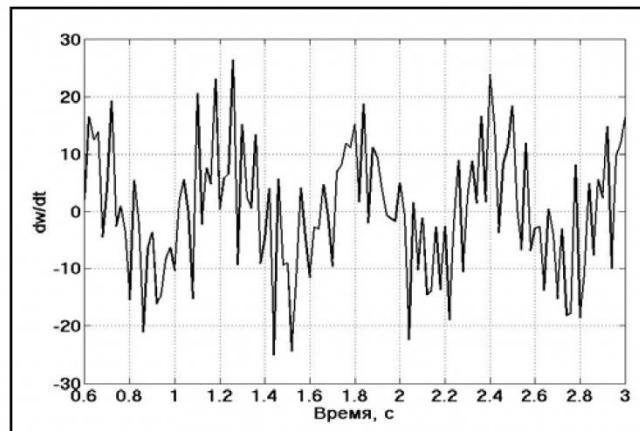


Рисунок 6 Характер изменения производной усилия ($\partial W_i/\partial t$) в тяговой цепи скребкового конвейера (расчет)

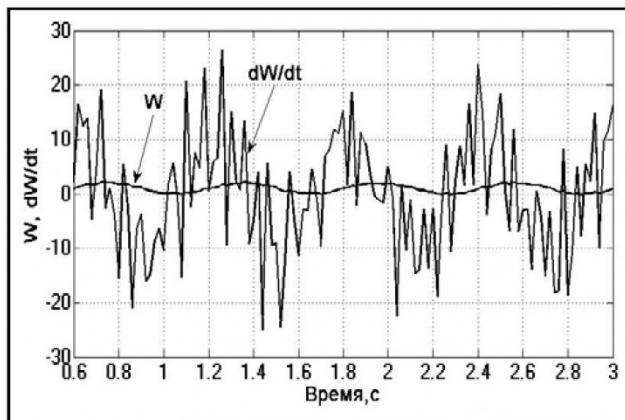


Рисунок 7 Совмещение рисунков 3 и 6 для оценки значимости влияния на интервал работоспособного состояния объекта Т высших гармонических составляющих воздействий W_i

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Albert, W. A. J. (1838) "Über Treibseile am Harz" *Archive für Mineralogie Geognosie Bergbau und Hüttenkunde*, vol. 10, pp 215-34.
2. Schutz W. (1996). A history of fatigue. *Engineering Fracture Mechanics* 54: 263-300.
3. Wöhler, A. (1870) Über die Festigkeitsversuche mit Eisen und Stahl, *Zeitschrift für Bauwesen* vol. 20 pp73-106.
4. Palmgren A.G. Die Lebensdauer von Kugellagern (Life Length of Roller Bearings. In German). *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure (VDI Zeitschrift)*, ISSN 0341-7258, Vol 68, No 14, April 1924, pp 339–341.
5. Серенсен С.В. Об оценке долговечности при изменяющейся амплитуде переменных напряжений // Вестник машиностроения. – 1944.- №7. –С.1-7.
6. Miner M.A. (1945) Cumulative damage in fatigue, *J. Appl. Mech.*, 12, A159-A164.
7. Шашин М.Я. Оценка долговечности при изменяющейся амплитуде переменных напряжений // Вестник машиностроения. – 1945.- №3. –С.3-11.
8. Седякин Н.М. Об одном физическом принципе теории надежности // Изв. АН СССР, Техническая кибернетика, 1966, №3
9. Карташов Г.Д. О гипотезе Майнера и принципе Седякина // Изв. АН СССР, Техническая кибернетика, 1970, №6.
10. Карташов Г.Д. Об оценке надежности изделий в переменном режиме // Изв. АН СССР, Техническая кибернетика, 1972, № 5.
11. Корнилова А.В. Определение общей долговечности и остаточного ресурса объекта по критерию многоцикловой усталости // Безопасность труда в промышленности. -2008. -№6. С.47-51.
12. Рощин К.В. Метод оценки времени до разрушения радиоэлементов при вибрационных воздействиях // Материалы Международной научно-технической конференции, 3 – 7 декабря 2012 г. Москва, С.79-81.
13. Федорченко Д.Г. Разработка методов оценки ресурса деталей авиационного ГТД в условиях многокомпонентного нагружения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 15, №6, 2013, С.148-154.
14. Масленников Н.Р. Влияние амплитуды и частоты колебаний нагрузки на долговечность кругло-звенных цепей / Масленников Н.Р., Елманов В.Д., Перминов Г.И. // Сб. научн. трудов КузПИ, №46.
15. Беллман Р. Процессы регулирования с адаптацией. -М.: Наука, 1964. -360 с.
16. Красников Ю.Д. Исследование формирования нагрузок в элементах горных выемочных машин // дисс... докт. техн. наук. – М.: Московский горный институт, 1969.

Автор статьи

Ешин

Евгений Константинович,
докт.техн.наук,
проф.каф.прикладных информаци-
онных технологий КузГТУ,
email: eke@kuzstu.ru