



4. Создание базовой интегральной динамической модели современных конвертерных процессов на основе законов неравновесной термодинамики. Сообщение 1. / Б.Н.Окороков, П.Ю.Шендриков, О.А.Комолова, В.Г.Поздняков // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2010. – № 5. – С. 31 – 36.
5. Охотский В.Б. Термо- и гидродинамические критические концентрации углерода при продувке сталеплавильной ванны / В.Б. Охотский // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2010. – № 10. – С. 15 – 19.
6. Бигеев А.М. Определение основных параметров кислородно-конвертерного процесса в конце продувки в условиях кислородно-конвертерного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / А.М. Бигеев, В.В. Байтман // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2007. – № 4. – С. 31 – 34.
7. Богушевский В.С. Опыт эксплуатации и перспективы развития АСУТП в конвертерном производстве / В.С. Богушевский // Автоматизация производственных процессов. – 1996. – № 1. – С. 18 – 23.
8. Система управления кислородно-конвертерной плавкой / В.С.Богушевский, С.К.Соболев, Н.А.Сорокин и др. // Черная металлургия: Бюллетень НТИ. – 1986. – № 4. – С. 39 – 41.
9. Богушевский В.С. Определение скорости обезуглероживания конвертерной ванны по информации об амплитудно-частотной характеристике отходящих газов / В.С. Богушевский, Н.А. Сорокин // Использование вычислительной техники при создании АСУТП. – К.: Ин-т автоматизации, 1987. – С. 26 – 31.
10. Переработка ванадиевого чугуна в конвертере с продувкой пульсирующим потоком кислорода / А.В. Явойский, Н.Е. Хисамутдинов, В.Г. Корогодский и др. // Сталь. – 1979. – № 8. – С. 577 – 578.
11. Богушевский В.С., Егоров К.В., Скачок А.Э. Контроль содержания углерода в ванне сталеплавильного агрегата // Материалы VII НТК молодых ученых и специалистов «Сварка и родственные технологии», Киев, 22-24 мая 2013 г. – С. 189.
12. Grenfell H.W., Bowen D.G. BOF blow control by furnace weight // Journal of Metals. – 1974. – Vol. 26, № 7. – P. 9 – 19.

УДК 621.313.3-7.017

ПОЛУМАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.Е. Кажан¹, А.Ю. Козаков², Б.С. Медяник³

¹ кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электропривода, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, Украина

² магистрант группы АП-01-10М кафедры электротехники и электропривода, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, Украина

³ магистрант группы АП-01-10М кафедры электротехники и электропривода, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: karyakamariya@gmail.com



Аннотация. В работе рассматривается методика выбора оптимальных периодичностей технического обслуживания (ТО) электромеханических систем (ЭМС). Предложена полумарковская модель процесса эксплуатации ЭМС, на основе которой получены аналитические соотношения для расчета оптимальных периодичностей обслуживания при изменяющемся во времени параметре потока отказов.

Ключевые слова: электромеханическая система, полумарковская модель, периодичность технического обслуживания, вероятность, надежность, коэффициент готовности, функция распределения, отказ.

SEMIMARKOV MODEL FOR DETERMINATION THE OPTIMAL FREQUENCY OF MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

Vladimir Kazhan¹, Anatoliy Kozakov², Bogdan Medyanik³

¹Ph.D. in engineering sciences, associate professor department of electrical engineering and electromechanic, National metallurgical academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine

²Undergraduate of AP-01-10M group department of electrical engineering and electromechanic, National metallurgical academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine

³Undergraduate of AP-01-10M group department of electrical engineering and electromechanic, National metallurgical academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine,
e-mail: karyakamariya@gmail.com

Abstract. In the work it is stated methods to select optimal periodicity of electromechanical systems (EMS) apparatus technical servicing (TS). It is proposed a semimarkovsk model of EMS exploitation process, based on which was obtained analytical correlations to calculate optimal periodicity of servicing with varying in time parameters of refusal flux.

Keywords: electromechanical system, semimarkov model, frequency of maintenance, probability, reliability, availability quotient, distribution function, refusal.

Введение. Необходимость оценки надежности непосредственно связана с повышением эффективности и качества, уменьшением материальных и временных затрат на эксплуатацию металлургических электромеханических систем, в том числе электроприводов этих систем, а также совершенствованием их системы технического обслуживания (СТО). Реально показатели надежности ЭМС, в частности параметры потоков отказов, являются изменяющимися во времени величинами, хотя на практике их считают неизменными.

При большой периодичности проведения ТО в ЭМС накапливаются скрытые отказы, приводящие к увеличению времени простоя системы. При уменьшении периодичности ТО увеличивается частота нахождения ЭМС в режиме ТО, что, в свою очередь, ведет к снижению её уровня готовности и увеличению затрат. Анализ СТО ЭМС указывает на то, что ТО проводятся с неизменными во времени объемами и периодичностями, при-



нимая за величину параметра потока отказов его среднее значение на интервале эксплуатации. Однако, практика показывает, что показатели надежности ЭМС, в том числе параметр потока отказов, являются нестационарными величинами. В силу этого имеет смысл определять такие значения периодичностей ТО, которые обеспечивали бы на протяжении всего "жизненного" цикла ЭМС максимальный коэффициент готовности при заданных затратах на эксплуатацию.

Цель работы. Построение и исследование математической модели процесса эксплуатации электромеханической системы и методики определения оптимальных периодичностей технического обслуживания в условиях изменяющегося во времени параметра потока отказов.

Материалы и результаты исследования. Задача определения оптимальных периодичностей ТО ЭМС может быть сформулирована следующим образом. Известны закон изменения параметра потока $\Lambda(t)$ и вероятность обнаружения $P_{\text{обн}}$ отказов ЭМС, а также продолжительности τ_p различных видов ТО, текущего ремонта τ_{TP} , другие характеристики СТО. Определить для любого шага эксплуатации y ($y = \overline{1, Y}$) длительностью T_y такие значения периодичностей T_p^* ТО, которые обеспечивают максимальную величину коэффициента готовности ЭМС.

Решение такой задачи состоит из следующих основных этапов:

1) построение модели процесса эксплуатации ЭМС;

2) вывод расчетного соотношения для коэффициента готовности K_r как функции параметров $K_r = f(\tau_p, T_p, \Lambda(t), \tau_{TP}, P_{\text{обн}}, y, \dots)$;

3) получение аналитического выражения для определения оптимальных периодичностей q -го вида ТО

$$T_{pq}^* = f(\tau_p, T_p, \Lambda(t), \tau_{TP}, P_{\text{обн}}, y, \dots), \quad q = \overline{1, Q}.$$

Решение первого этапа задачи основывается на использовании полумарковской модели процесса эксплуатации ЭМС, заданного на множестве дискретных состояний и возможных переходов на интервале эксплуатации $[1, 2]$. В любой произвольный момент времени ЭМС может находиться в одном из состояний $S_k \in \mathbf{S}$ графа состояний и переходов (ГСП), приведенного на рис. 1: S_1 - ЭМС работоспособна и готова к применению, S_2 - на ЭМС проводится ТО при условии, что в аппаратуре нет отказов; S_3 - в аппаратуре ЭМС существуют скрытые отказы; S_4 - на ЭМС проводится ТО, во время которого могут выявляться скрытые отказы; S_5 - производится текущий ремонт аппаратуры.

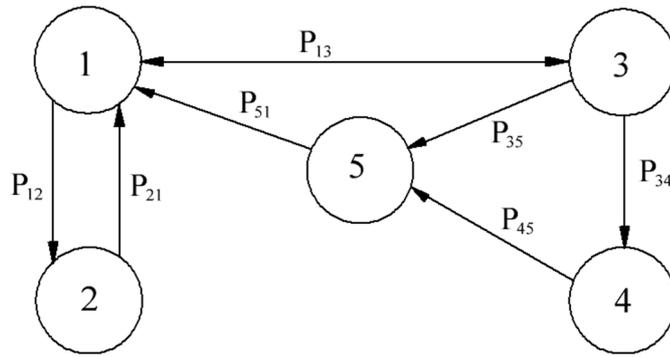


Рисунок 1 – Граф состояний и переходов ЭМС

Исчерпывающими характеристиками полумарковского процесса являются матрица условных функций распределения $\underline{F}(t) = \|F_{kl}(t)\|$ времени пребывания ЭМС в состоянии S_k до перехода в состояние S_l ($S_k, S_l \in \mathbf{S}$) и матрица условных вероятностей переходов

$$\underline{P}(t) = \|P_{kl}(t)\| = \begin{pmatrix} 0 & 1 - P_{от} & P_{от} & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 - P_{обн} & P_{обн} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, k, l = \overline{1, N} (N = 5).$$

Тогда, используя основное соотношение теории марковских цепей и выражение для безусловных функций распределения соответственно:

$$\underline{\Pi} = \underline{\Pi} \cdot \|p_{kl}\|, k, l = \overline{1, N}; \quad (1)$$

$$F_k(t) = \sum_{l=1}^N p_{kl} \cdot F_{kl}(t), k = \overline{1, N}, \quad (2)$$

с учетом условия нормировки $\sum_{k=1}^N \Pi_k = 1$, рассчитываются стационарные вероятности пребывания ЭМС в каждом из $S_k \in \mathbf{S}$ состояний согласно формуле

$$\Pi_k^* = \Pi_k \cdot M_k / \sum_{k=1}^N \Pi_k \cdot M_k, k = \overline{1, 5}, \quad (3)$$

где M_k - среднее время пребывания ЭМС в $S_k \in \mathbf{S}$ состоянии ГСП

$$M_k = \int_0^{\infty} [1 - F_k(t)] dt. \quad (4)$$



За шаг эксплуатации y выбирается временной интервал T_y , в пределах которого характеристики СТО и технического состояния ЭМС остаются неизменными. В частности, параметр потока отказов $\Lambda(t)$ может представлять собой линейно - изменяющуюся функцию времени вида $\Lambda(t) = a_o + a_1 t$, среднее значение которого рассчитывается как

$$\Lambda_y = \frac{1}{T_y} \int_{(y-1)T_y}^{yT_y} (a_o + a_1 t) dt = a_o + T_y (2y - 1). \quad (5)$$

На основании соотношений (1) - (5) находятся аналитические выражения для вероятностей $\Pi_k^* = K_r$ работоспособного состояния, в частности для вероятности Π_1^* , представляющей по своему содержанию коэффициент готовности ЭМС

$$\Pi_1^* = \frac{1/\Lambda_y (1 - e^{-\Lambda_y T_p})}{1/\Lambda_y (1 - e^{-\Lambda_y T_p}) + \tau_p (1 - P_{от}) + (1 - P_{обн}) \frac{P_{от}}{\Lambda_y} (\Lambda_y T_p^{-1} + e^{-\Lambda_y T_p}) P_{обн} \tau_{обн} P_{от} + P_{от} \tau_{от}}. \quad (6)$$

Продифференцировав соотношение (6) по переменной T_p и приравняв полученное выражение к нулю, найдем аналитическую зависимость для определения оптимальной периодичности T_p^* ТО ЭМС, обеспечивающей максимум вероятности $\Pi_1^*(T_p)$ на шаге эксплуатации y как решение кубического уравнения неполного вида методом Кардано [3]

$$T_p^* = -\frac{1}{\Lambda_y} \ln \left(1 - \sqrt[3]{\frac{\beta}{2} + \sqrt{\left(\frac{\beta}{2}\right)^3 + \left(\frac{\beta}{2}\right)^2}} - \sqrt[3]{\frac{\beta}{2} - \sqrt{\left(\frac{\beta}{2}\right)^3 + \left(\frac{\beta}{2}\right)^2}} \right), \quad (7)$$

где $\beta = \Lambda_y \cdot \tau_p / P_{обн}$.

По известным значениям параметров СТО и ЭМС на рис. 2 изображены графики зависимостей оптимальных периодичностей T_p^* ТО во времени.

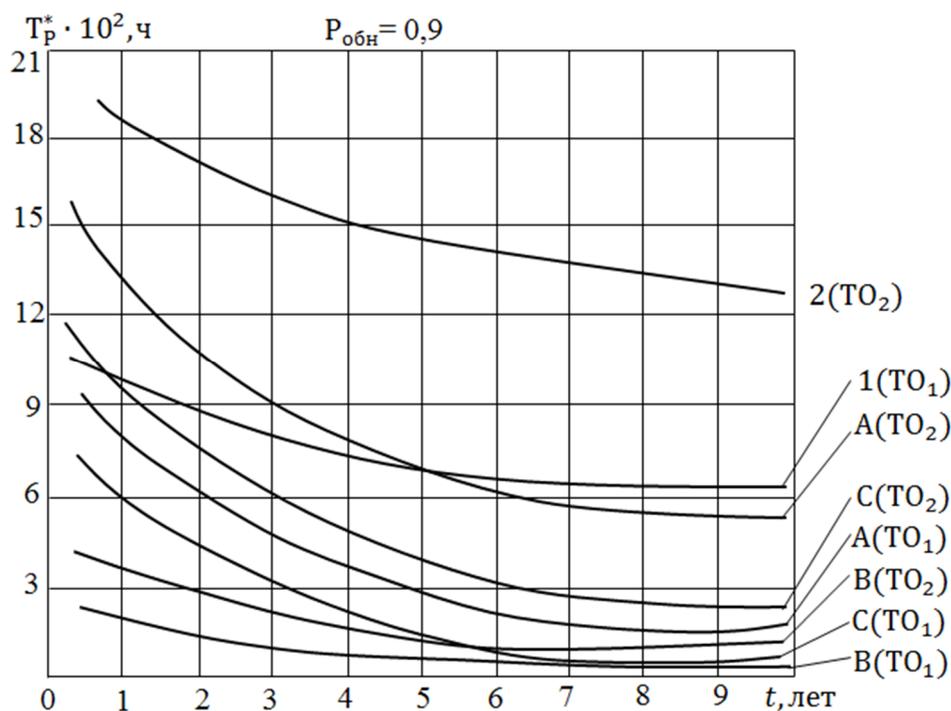


Рисунок 2 – Графики зависимостей оптимальных периодичностей ТО ЭМС во времени

Эти кривые характеризуют изменение периодичностей T_p^* обслуживания на интервале "жизненного" цикла аппаратуры ЭМС типа А, В, С, имеющей различные законы изменения параметра потока отказов при выполнении на ней двух видов ТО: малой (TO_1) и большой (TO_2) периодичностей ($q = 1,2$). Из графиков следует, что с ростом параметра $\Lambda(t)$ величина периодичности T_p^* уменьшается и наоборот. В этом случае изменение периодичности обслуживания T_p^* обеспечивает максимально возможное значение коэффициента готовности. Кроме того, в пределах первых трех лет эксплуатации периодичности ТО ЭМС близки к реально установленным, а более трех – изменяются значительно.

Выводы.

1. Сформулирована задача определения оптимальных периодичностей ТО, в результате решения которой: построена полумарковская модель процесса эксплуатации ЭМС заданного в виде ориентировочного графа состояний и переходов; выведены расчётные соотношения для определения коэффициента готовности и оптимальных периодичностей ТО ЭМС на выбранном шаге эксплуатации.

2. Полученное на основе полумарковской модели процесса эксплуатации соотношение устанавливает аналитическую связь характеристик СТО и параметров технического состояния ЭМС и позволяет рассчитать оптимальные из условия обеспечения максимума коэффициента готовности



значения периодичностей ТО аппаратуры на заданном интервале эксплуатации, управлять нестационарным процессом эксплуатации ЭМС и выбрать рациональный режим работы СТО в целом.

3. По известным значениям параметров СТО и ЭМС проведен пример расчета и построены графики изменения оптимальных периодичностей ТО во времени для различных видов обслуживания на интервале “жизненного” цикла системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытаний на безотказность. Пер. с англ. Н.А. Ушакова. –М.: Наука, 1984. -327 с.
2. Королук В.С., Турбин А.Ф. Полумарковские процессы и их приложения. К.: Наук. думка, 1976. -184 с.
3. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. 5-е изд. –М.: Наука,1984. -831 с.
4. Ястребенецкий М.А., Иванова Г.М. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами. –М.: Энергоатомиздат, 1989. -264 с.

УДК 004.942

СКЛАДАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ РУДНОГО МАТЕРІАЛУ

С.І. Ліпанчиков¹

¹аспірант кафедри інформатики, автоматики і систем управління, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: serge.lipanchikov@gmail.com

Анотація. В роботі описано та теоретично досліджено підхід до складання математичної моделі циклу технологічного процесу подрібнення та класифікації, що складається з млина, класифікатора з урахуванням відповідних запізнень та заданої частини матеріалу, що відправляється на повторне подрібнення.

Ключові слова: інтегратор, запізнення, повторне дроблення, продуктивність роботи млина.

DESIGN OF MATHEMATICAL MODEL OF ORE MATERIAL MILLING AND CLASSIFICATION

Serhii Lipanchikov¹

¹postgraduate student of Informatics, Automatics and Control Systems Department, State Higher Educational Institution “Kryviy Rih National University”, Kryviy Rih, Ukraine, e-mail: serge.lipanchikov@gmail.com