

УДК 65.011.56

А.Н. Никишенко, аспирант

Севастопольский национальный технический университет

Университетская, 22, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ БЛОКА ПЕННОГО ФЛЮСОВАНИЯ

Построена полумарковская модель восстанавливаемой производственной системы с постепенными скрытыми отказами с учетом проведения контроля технического состояния. Определены основные характеристики надежности и экономической эффективности системы с общим видом закона распределения случайных величин. Построенная модель позволила автоматизировать процесс управления технологического процесса флюсования печатных плат на установке пайки волной припоя.

Ключевые слова: *скрытый отказ, контроль, диагностический параметр, упреждающий допуск, надежность, полумарковская модель.*

Введение. Большинство печатных плат с металлизированными монтажными отверстиями монтируются посредством волновой пайки. Принцип метода состоит в том, что плата прямолинейно проводится через гребень волны припоя. Нанесение флюса перед пайкой платы осуществляется в основном способом пенного флюсования [1]. Достоинства этого способа нанесения флюса — низкая стоимость оборудования и простота настройки процесса флюсования. К недостаткам этого метода можно отнести постоянный контакт флюса с воздухом (испарение растворителя, абсорбция влаги) и контакт флюса с поверхностью печатной платы (растворение во флюсе окислов и других загрязнений, смываемых с поверхности платы). Это приводит к изменению состава и плотности флюса и, как следствие, к ухудшению пайки.

Рекомендуется [2] проводить регулярный контроль и коррекцию плотности флюса, используемого в блоке флюсования, для обеспечения устойчивого качества пайки. Проведение контроля позволяет определить плотность флюса. В случае если плотность превышает критический уровень, ее необходимо скорректировать с помощью добавления растворителя либо заменой флюса. В данном случае блок флюсования является системой с возможностью возникновения постепенного скрытого параметрического отказа и с проведением контроля технического состояния (КТС).

В системе с постепенными параметрическими отказами для предупреждения их наступления контролируют диагностический параметр (ДП) объекта [3] — параметр объекта диагностирования, используемый в установленном порядке для определения технического состояния объекта. Для этого вводят упреждающий допуск (УД) ДП — диапазон изменения диагностического параметра, в котором в соответствии с эксплуатационной или ремонтной документацией нарушается исправность изделия при сохранении его работоспособности. При нахождении ДП в УД система находится в предотказном состоянии. Критический уровень параметра определяется технической документацией. Величина УД ДП и периодичности КТС выбирается лицом, принимающим решение (ЛПР), поэтому выбор данных параметров должен быть оптимальным и максимально автоматизированным.

Цель данной статьи — автоматизировать выбор оптимального уровня УД ДП и периодичности КТС с точки зрения параметров эффективности работы блока пенного флюсования.

Построение математической модели. Рассмотрим систему, функционирующую следующим образом. В начальный момент времени система начала работу, контроль включен. Время безотказной работы системы — СВ α_0 с функцией распределения (ФР) $F_0(t) = P\{\alpha_0 \leq t\}$ и плотностью распределения (ПР) $f_0(t)$. После завершения времени безотказной работы один из контролируемых параметров системы переходит в границу упреждающего допуска, т.е. система переходит в предотказное состояние. Время нахождения системы в предотказном состоянии — СВ α_1 с функцией распределения (ФР) $F_1(t) = P\{\alpha_1 \leq t\}$ и плотностью распределения (ПР) $f_1(t)$. После завершения пребывания параметра в предотказном состоянии система переходит в состояние скрытого параметрического отказа. Контроль начинается через случайные (в общем случае) интервалы времени δ с ФР $R(t) = P\{\delta \leq t\}$ и ПР $r(t)$. Длительность проведения контроля СВ γ с ФР $V(t) = P\{\gamma \leq t\}$ и ПР $v(t)$. На время контроля работа системы останавливается. В результате проведения контроля обнаруживается наличие в системе, как скрытого отказа, так и нахождения параметра в границе упреждающего допуска. В случае обнаружения в системе предотказного состояния, либо отказа начинается восстановление. Время восстановления

системи СВ β с ФР $G(t) = P\{\beta \leq t\}$ и ПР $g(t)$. На время восстановления контроль отключается. После восстановления все свойства системы полностью обновляются.

Для описания функционирования системы дополним физическое пространство состояний до полумарковского введением компоненты x , фиксирующей «время вперед». Система описывается следующим пространством полумарковских состояний:

$$E = \{111, 211x, 212x, 131x, 232x, 101x, 202, 220x\},$$

где 111 — система начала работать, контроль включен;

212x — начался контроль, система работоспособна и отключена, до перехода в предотказное состояние (выхода параметра в границу упреждающего допуска) осталось время x ;

211x — завершился контроль, система работоспособна, перехода в предотказное состояние осталось время x ;

131x — параметр вышел в границу упреждающего допуска, система работоспособна, до начала контроля осталось время x ;

232x — начался контроль, система работоспособна и отключена, параметр находится в границе упреждающего допуска, до возникновения параметрического отказа осталось время x ;

101x — наступил скрытый параметрический отказ, система функционирует, но не работоспособна, до начала проведения контроля осталось время x ;

202 — начался контроль, система с параметрическим отказом и отключена на время контроля;

220x — обнаружено предотказное состояние либо отказ в системе, контроль отключился, началось восстановление системы, до окончания времени нахождения системы в предотказном состоянии осталось время x , $x=0$ при условии, что система в момент начала проведения контроля находилась в состоянии скрытого отказа.

Определим вероятности переходов вложенной цепи Маркова (ВЦМ) $\{\xi_n, n \geq 0\}$ системы:

$$\begin{cases} P_{111}^{212x} = \int_0^{\infty} f_0(x+t)r(t)dt; & P_{111}^{131x} = \int_0^{\infty} f_0(t)r(t+x)dt; \\ p_{211x}^{212y} = r(x-y), & p_{131x}^{101y} = f_1(x-y), 0 < y < x; \\ p_{211x}^{131y} = r(y+x), & p_{131x}^{232y} = f_1(x+y), y > 0; \\ P_{212x}^{211y} = P_{101x}^{202} = P_{202}^{220x} = P_{232x}^{220x} = P_{220x}^{111} = 1. \end{cases} \quad (1)$$

Обозначим через $\rho(111)$ и $\rho(202)$ значение стационарного распределения ВЦМ $\{\xi_n, n \geq 0\}$ на состояниях 111 и 202 соответственно. Предположим существование стационарных плотностей $\rho(211x)$, $\rho(212x)$, $\rho(131x)$, $\rho(232x)$, $\rho(101x)$ и $\rho(220x)$ для состояний 211x, 212x, 131x, 232x, 101x и 220x соответственно. Составим для них систему интегральных уравнений:

$$\begin{cases} \rho_0 = \rho(111) = \rho(220x), \\ \rho(212x) = \rho(111) \int_0^{\infty} f_0(x+t)r(t)dt + \int_x^{\infty} \rho(211y)r(y-x)dy, \\ \rho(131x) = \rho(111) \int_0^{\infty} r(x+t)f_0(t)dt + \int_0^{\infty} \rho(211y)r(x+y)dy, \\ \rho(101x) = \int_x^{\infty} \rho(131y)f_1(y-x)dy, & \rho(232x) = \int_0^{\infty} \rho(131y)f_1(y+x)dy, \\ \rho(202) = \int_0^{\infty} \rho(101x)dx, & \rho(211x) = \rho(212x), \\ 2\rho_0 + 2 \int_0^{\infty} \rho(211x)dx + \int_0^{\infty} \rho(131x)dx + 2\rho(202) + \int_0^{\infty} \rho(232x)dx = 1. \end{cases} \quad (2)$$

Последнее уравнение в системе (2) — условие нормировки.

Методом последовательных приближений можно показать, что система уравнений (2) имеет следующее решение:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho(111) = \rho(220x) = \rho_0, \quad \rho(211x) = \rho_0 \int_0^{\infty} h_r(t-x) f_0(t) dt, \\ \rho(212x) = \rho_0 \int_0^{\infty} h_r(t-x) f_0(t) dt, \quad \rho(131x) = \rho_0 \int_0^x v_r(t,x) f_0(t) dt, \\ \rho(101x) = \rho_0 \int_0^{\infty} f_0(t) dt \int_0^{\infty} f_1(y-x) v_r(t,y) dy, \\ \rho(232x) = \rho_0 \int_0^{\infty} f_0(t) dt \int_0^{\infty} f_1(y+x) v_r(t,y) dy, \\ \rho(202) = \rho_0 \int_0^{\infty} f_0(t) dt \int_0^{\infty} f_1(y) \bar{V}_r(t,y) dy. \end{array} \right. \quad (3)$$

Здесь ρ_0 — находится из условия нормировки; $h_r(t) = \sum_{n=1}^{\infty} r^{*(n)}(t)$ — плотность функции восстановления $H_r(t) = \sum_{n=1}^{\infty} R^{*(n)}(t)$ процесса, порожденного СВ δ ; $v_r(t,x) = r(t+x) + \int_0^x r(x+t-s) h_r(s) ds$ — плотность распределения прямого остаточного времени до начала контроля $\bar{V}_r(t,x)$ [4].

Стационарные характеристики системы. Найдем средние времена пребывания в состояниях исходной системы:

$$\begin{aligned} m(111) &= \int_0^{\infty} \bar{F}_0(t) \bar{R}(t) dt; & m(211x) &= \int_0^x \bar{R}(t) dt; & m(131x) &= \int_0^x \bar{F}_1(t) dt; \\ m(212x) &= m(232x) = m(202) = M\gamma; & m(101x) &= x; & m(220x) &= M\beta. \end{aligned} \quad (4)$$

Среднюю стационарную наработку на отказ T_+ и среднее стационарное время восстановления T_- найдем по формулам [4]:

$$T_+ = \frac{\int_{E_+} m(e) \rho(de)}{\int_{E_+} \rho(de) P(e, E_-)}, \quad T_- = \frac{\int_{E_-} m(e) \rho(de)}{\int_{E_+} \rho(de) P(e, E_-)}. \quad (5)$$

Отметим, что стационарный коэффициент готовности связан с T_+ , T_- соотношением:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_+}{T_+ + T_-}. \quad (6)$$

Для исходной системы множества работоспособных состояний E_+ и неработоспособных состояний E_- имеют вид:

$$E_+ = \{111, 211x, 131x\}, \quad E_- = \{212x, 101x, 232x, 202, 220\}.$$

С учетом формул (1), (3) и (4), найдем выражения, входящие в (5):

$$\int_{E_+} m(e) \rho(de) = \rho_0 M \alpha_0 + \rho_0 \int_0^{\infty} f_0(t) dt \int_0^{\infty} \bar{F}_1(x) \bar{V}_r(t,x) dx. \quad (7)$$

Далее,

$$\int_{E_-} m(e) \rho(de) = \rho_0 M \beta + \rho_0 \int_0^{\infty} f_0(t) dt \int_0^{\infty} F_1(z) \bar{V}_r(t,z) dz + \rho_0 M \gamma \int_0^{\infty} f_0(t) \hat{H}_r(t) dt. \quad (8)$$

Здесь $\hat{H}_r(t) = H_r(t) + 1$.

Тогда

$$\int_E m(e)\rho(de) = \rho_0 \left[M\beta + (M\delta + M\gamma) \int_0^\infty f_0(t)\hat{H}_r(t) dt \right]. \quad (9)$$

Далее,

$$\int_{E_+} P(e, E_-)\rho(de) = \rho_0 \int_0^\infty f_0(t)\hat{H}_r(t) dt. \quad (10)$$

Таким образом, с учетом (7), (8) и (10) T_+ и T_- имеют вид:

$$T_+ = \frac{M\alpha_0 + \int_0^\infty f_0(t) dt \int_0^\infty \bar{F}_1(x)\bar{V}_r(t, x) dx}{\int_0^\infty f_0(t)\hat{H}_r(t) dt}. \quad (11)$$

$$T_- = \frac{M\beta + \int_0^\infty f_0(t) dt \int_0^\infty \bar{F}_1(z)\bar{V}_r(t, z) dz + M\gamma \int_0^\infty f_0(t)\hat{H}_r(t) dt}{\int_0^\infty f_0(t)\hat{H}_r(t) dt}. \quad (12)$$

С учетом (6), (11) и (12) стационарный коэффициент готовности будет следующим:

$$K_G = \frac{M\alpha_0 + \int_0^\infty f_0(t) dt \int_0^\infty \bar{F}_1(x)\bar{V}_r(t, x) dx}{M\beta + (M\delta + M\gamma) \int_0^\infty f_0(t)\hat{H}_r(t) dt}. \quad (13)$$

Найдем экономические характеристики исследуемой системы: среднюю прибыль S в единицу календарного времени и средние затраты C в единицу времени исправного функционирования системы:

$$S = \frac{E}{\int_E m(e)\rho(de)}, \quad C = \frac{E}{\int_{E_+} m(e)f_c(e)\rho(de)}. \quad (14)$$

Предположим, что g_+ — доход, получаемый за единицу времени пребывания системы в работоспособном состоянии; c_f — затраты за единицу времени функционирования системы; c_{im} (irreducible maintenance) — затраты за единицу времени проведения минимального ТО (устранения причин попадания параметра в границу упреждающего допуска); c_{am} (additional maintenance) — дополнительные затраты на проведения ТО; c_c — затраты за единицу времени проведения контроля работоспособности системы; c_{pf} — потери за единицу времени работы с параметрическим отказом по причине выпуска брака.

Дополнительные затраты на проведения ТО определяются степенью ухода параметра от нормы, другими словами чем позже обнаружен уход параметра, тем больше стоимость восстановления системы. Максимальная стоимость ТО будет в случае развития скрытого параметрического отказа в системе.

Для рассматриваемой системы функции $f_s(e)$ и $f_c(e)$ имеют следующий вид:

$$f_s(e) = \begin{cases} g_+, & e \in E_+, \\ -c_f, & e \in E_f, \\ -c_{im}, & e \in E_{im}, \\ -c_{am}, & e \in E_{am}, \\ -c_c, & e \in E_c, \\ -c_{pf}, & e \in E_{pf}, \end{cases} \quad f_c(e) = \begin{cases} c_f, & e \in E_f, \\ c_{im}, & e \in E_{im}, \\ c_{am}, & e \in E_{am}, \\ c_c, & e \in E_c, \\ c_{pf}, & e \in E_{pf}. \end{cases} \quad (15)$$

Здесь $E_f = \{111, 211x, 212x, 131x, 232x, 101x, 202\}$, $E_c = \{212x, 232x, 202\}$; $E_{im} = \{220\}$; $E_{am} = \{131x\}$; $E_{pf} = \{101x\}$. Отметим, что $E_c \cup E_{pf} \cup E_{im} = E_-$, $E_f = E \setminus (E_c \cup E_{im})$.

Используя формулы (2), (3), (8), (9) и (14), найдем значение средней прибыли S в единицу календарного времени и затраты в единицу времени исправного функционирования:

$$S = \left[(g_+ + c_{pf})M\alpha_0 - [(c_{pf} + c_f)M\delta + c_cM\gamma] \int_0^{\infty} f_0(t)\hat{H}_r(t)dt - c_{im}M\beta + \right. \\ \left. + (g_+ + c_{pf} - c_{am}) \int_0^{\infty} f_0(t)dt \int_0^{\infty} \bar{F}_1(x)\bar{V}_r(t,x)dx \right] / \left[M\beta + (M\delta + M\gamma) \int_0^{\infty} f_0(t)\hat{H}_r(t)dt \right], \quad (16)$$

$$C = \left[(c_{pf} + c_f)M\delta + c_cM\gamma \int_0^{\infty} f_0(t)\hat{H}_r(t)dt - c_{pf}M\alpha_0 + c_{im}M\beta + \right. \\ \left. + (c_{am} - c_{pf}) \int_0^{\infty} f_0(t)dt \int_0^{\infty} \bar{F}_1(x)\bar{V}_r(t,x)dx \right] / \left[M\alpha_0 + \int_0^{\infty} f_0(t)dt \int_0^{\infty} \bar{F}_1(x)\bar{V}_r(t,x)dx \right]. \quad (17)$$

Получим формулы для K_T , S и C исследуемой системы с учетом периодического контроля при условии постоянной периодичности контроля $\tau > 0$. Учитывая, что в этом случае $R(t) = 1(t - \tau)$, где $\tau = const$, выражения (13), (16) и (17) примут вид:

$$K_T = \frac{M\alpha_0 + \sum_{n=0}^{\infty} \bar{F}_0(n\tau) \int_0^{\tau} \bar{F}_1(x)dx - \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^{\tau} \bar{F}_1(x)\bar{F}_0((n+1)\tau - x)dx}{M\beta + (M\gamma + \tau) \sum_{n=0}^{\infty} \bar{F}_0(n\tau)}, \quad (18)$$

$$S = \left[(g_+ + c_{pf} - c_{am}) \left(\sum_{n=0}^{\infty} \bar{F}_0(n\tau) \int_0^{\tau} \bar{F}_1(x)dx - \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^{\tau} \bar{F}_1(x)\bar{F}_0((n+1)\tau - x)dx \right) + \right. \\ \left. + (g_+ + c_{pf})M\alpha_0 - c_{im}M\beta - (c_{pf} + c_f)\tau + c_cM\gamma \sum_{n=0}^{\infty} \bar{F}_0(n\tau) \right] / \left[M\beta + (M\gamma + \tau) \sum_{n=0}^{\infty} \bar{F}_0(n\tau) \right], \quad (19)$$

$$C = \left[c_{im}M\beta + (c_{pf} + c_f)\tau + c_cM\gamma \sum_{n=0}^{\infty} \bar{F}_0(n\tau) - c_{pf}M\alpha_0 + \right. \\ \left. + (c_{am} - c_{pf}) \left(\sum_{n=0}^{\infty} \bar{F}_0(n\tau) \int_0^{\tau} \bar{F}_1(x)dx - \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^{\tau} \bar{F}_1(x)\bar{F}_0((n+1)\tau - x)dx \right) \right] / \left[M\alpha_0 + \right. \\ \left. + \sum_{n=0}^{\infty} \bar{F}_0(n\tau) \int_0^{\tau} \bar{F}_1(x)dx - \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^{\tau} \bar{F}_1(x)\bar{F}_0((n+1)\tau - x)dx \right]. \quad (20)$$

Полученные формулы позволяют вычислить значения стационарного коэффициента готовности, среднюю прибыль и средние затраты в системе со скрытыми отказами и с КТС с остановкой системы на его время.

Описание эксперимента. Используем разработанную модель для обоснования выбора УД на изменение плотности флюса в установке пенного флюсователя ETC 250 компании ERSА [2]. Объем флюсователя 2 литра. Рабочая ширина 250 мм. Флюсователь оснащен средствами удаления избытка флюса с платы (воздушный нож).

В рамках данной работы был поставлен и проведен пассивный производственный эксперимент по определению скорости изменения параметров флюса в блоке нанесения флюса во время работы установки. Фактический объем флюса при наполнении до выводного отверстия — 1,5 литра. Использовался флюс Emil Otto GSP-2533/RX. Заявленная производителем плотность флюса составляет $0,794 \pm 0,003$ г/см³. Плотность «свежего» флюса измерялась для каждой новой канистры флюса (20 л). За время проведения эксперимента на установке израсходовано 38,5 л флюса (использовался флюс из двух канистр). Плотность «свежего» флюса в данных канистрах составляла 0,794 г/см³.

В рамках експеримента в начале смены емкость флюсователя заполнялась «свежим» флюсом, после чего начинался процесс пайки. В случае уменьшения начального уровня флюса в емкость доливался свежий флюс до наполнения емкости.

Во время технологических перерывов проводился контроль плотности флюса и его температуры. Измерение плотности проводилось с помощью ареометра с ценой деления 0,001 г/см³, температура измерялась цифровым термометром с точностью 1 °С. Измерение температуры флюса необходимо для перерасчета измеренной плотности к температуре 20 °С. Плотность флюса после контроля не корректируется.

Всего проведено 53 измерения плотности флюса. Общее контрольное время работы установки составило 82 ч. 25 мин. Определено, что изменение плотности флюса является монотонной и неубывающей функцией. Последнее свойство позволяет использовать данный параметр в качестве диагностического для определения перехода компонента системы в предотказное состояние.

Определение вида распределения случайных величин. Так как не может использоваться непрерывный контроль из-за необходимости отключения оборудования на время его проведения, невозможно точно определить момент перехода системы в предотказное состояние либо в состоянии скрытого отказа. Поэтому на основании экспериментальных данных определяется темп (величина обратной скорости) изменения плотности флюса во времени:

$$u_i = \frac{1}{v_i} = \frac{t_i}{a_i}, \quad i \in \overline{1, N}. \quad (21)$$

Здесь $N = 53$, a_i — величина изменения плотности флюса к моменту проведения контроля, t_i — время за которое происходит данное изменение плотности флюса.

Далее проводится оценка соответствия распределения СВ U аналитическому закону по критерию согласия Пирсона (критерий χ^2) [5]. В качестве аналитических функций времен наработки на отказ в модуле по умолчанию используются следующие законы [4]: экспоненциальное, гамма-, логнормальное, нормальное, рэлеевское, равномерное, Вейбула-Гнеденко. Для каждой теоретической функции распределения F_i проводится оценка согласия с эмпирической по критерию Пирсона [6]. Следует помнить, что в данном случае проводится оценка сложной гипотезы [7], т.к. параметры теоретических распределений оцениваются по самой выборке. Для оценки параметров распределений используется метод максимального правдоподобия. Затем проверялась гипотеза H_0 о том, что эмпирическая функция распределения согласуется с теоретическим распределением F_i . Уровень значимости устанавливается ЛПР (по умолчанию $\alpha = 0,05$). В случае, если гипотеза H_0 подтверждается, производится расчет вероятности p_i того, что СВ, распределенная по закону Пирсона, превысит значение меры расхождения, определенную с учетом числа степеней свободы.

Таблица 1 — Значение вероятности p_i предлагаемые ЛПР для принятия решения о выборе вида теоретического распределения («-» — гипотеза H_0 отвергнута)

Вид теоретического распределения	Экспоненциальное	Гамма-	Лог-нормальное	Нормальное	Рэлеевское	Равномерное	Вейбула-Гнеденко
Значение вероятности p_i	—	0,6161	0,318	0,785	0,073	—	0,724

Сравнение эмпирической ФР с выбранной теоретической для СВ U приводится на рисунке 1. Параметры нормального распределения для СВ U следующие: $\mu = 7,92 \text{ мин} \cdot \text{см}^3 / \text{г}$, $\sigma = 2,90 \text{ мин} \cdot \text{см}^3 / \text{г}$.

Время t , за которое плотность флюса увеличивается на фиксированный уровень Δa , можно определить как произведение фиксированного уровня на величину темпа увеличения плотности флюса: $t = \Delta a \cdot u$. Согласно данному выражению СВ α_0 и α_1 определяются как произведение СВ темпа увеличения плотности флюса на константу. Известно, что нормальное распределение обладает следующим свойством: если $X \sim N(\mu, \sigma)$ и $a > 0$ — произвольная константа, то $aX \sim N(a\mu, \sqrt{a}\sigma)$. Используя данное свойство, можем заключить, что время t , за которое плотность флюса увеличивается на фиксированный уровень Δa , описывается нормальным распределением следующего вида:

$t \sim N(\Delta a \cdot \mu, \sqrt{\Delta a} \cdot \sigma)$, где $\mu = 7,92 \text{ мин} \cdot \text{см}^3/\text{г}$, $\sigma = 2,90 \text{ мин} \cdot \text{см}^3/\text{г}$. Это в свою очередь позволяет использовать результаты контроля для определения вида ФР СВ α_0 и α_1 .

Обоснование выбора величины упреждающего допуска. Внутренней технической документацией предприятия определено, что уровень плотности флюса 810 г/см^3 является критическим. Для анализа выбрано четыре значения упреждающего допуска $a = [0; 5; 10; 15] \text{ г/см}^3$. Время достижения уровня плотности флюса $(810 - a) \text{ г/см}^3$ от начального уровня 794 г/см^3 является временем выхода блока в предотказное состояние α_0 ($\Delta a_0 = 16 - a$), а время достижения уровня 810 г/см^3 от начального уровня $(810 - a) \text{ г/см}^3$ — время нахождения блока в предотказном состоянии α_1 ($\Delta a_0 = a$).

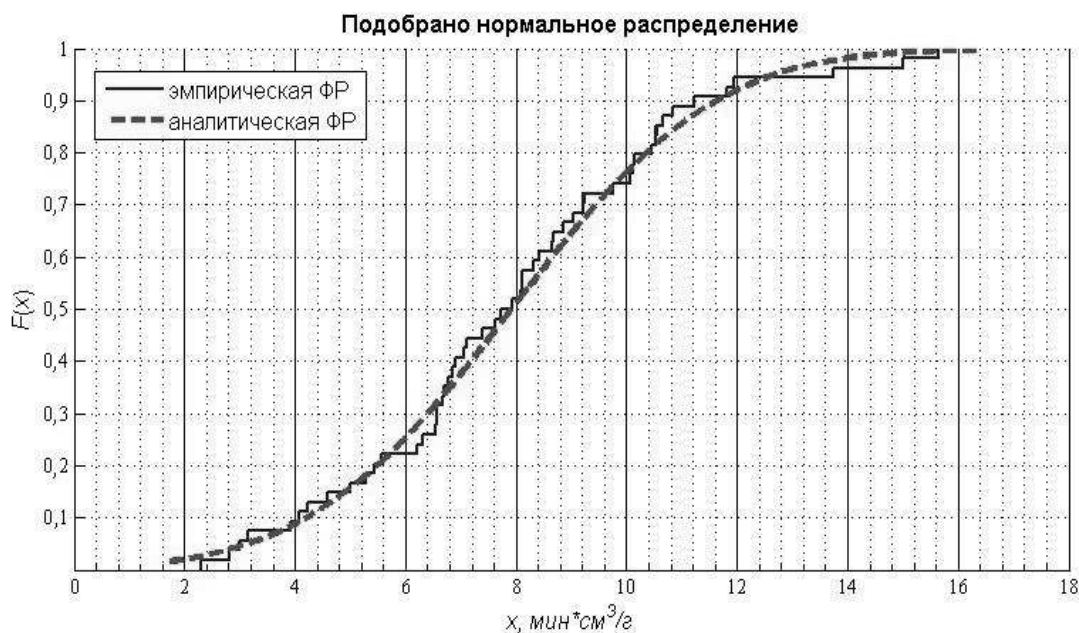


Рисунок 1 — Сравнение эмпирической ФР с выбранной теоретической для СВ темпа изменения плотности флюса

Данные по законам распределения СВ сведены в таблицу 2. Характеристики СВ времени приведения контроля и ТО входят в выражения стационарных характеристик системы только в виде математического ожидания, поэтому для данных СВ закон распределения может быть произвольным и не требует оценки. Для определения экономических критериев эффективности системы использовались параметры, приведенные в таблице 3. Периодичность контроля τ является входным параметром при оптимизации.

Таблица 2 — Статистические параметры системы

Случайная величина	Вид распределения СВ	МО, мин	СКО, мин
Время выхода в предотказное состояние, α_0	Нормальное	$7,92 \cdot (16 - a)$	$2,9 \cdot \sqrt{16 - a}$
Время нахождения в предотказном состоянии, α_1	Нормальное	$7,92 \cdot a$	$2,9 \cdot \sqrt{a}$
Время проведения контроля, γ	~	5	~
Время проведения ТО, β	~	5	~

Таблица 3 — Экономические параметры системы

Величина упреждающего допуска $a, \text{ г/см}^3$	$g_+, \text{ у.е./мин}$	$c_f, \text{ у.е./мин}$	$c_{im}, \text{ у.е./мин}$	$c_{am}, \text{ у.е./мин}$	$c_c, \text{ у.е./мин}$	$c_{pf}, \text{ у.е./мин}$
15	70	22	30	15	50	32
10			35	10		
5			40	5		
без допуска			45	0		

Используя параметры таблиц 2 и 3, проводился расчет зависимости стационарных параметров системы от периодичности контроля по формулам (18) — (20) при различных величинах УД (без допуска, 5 г/см³, 10 г/см³, 15 г/см³). Рассчитанные зависимости приведены: для стационарного коэффициента готовности на рисунке 2; для средней прибыли в единицу календарного времени и средних затрат в единицу времени функционирования на рисунке 3.

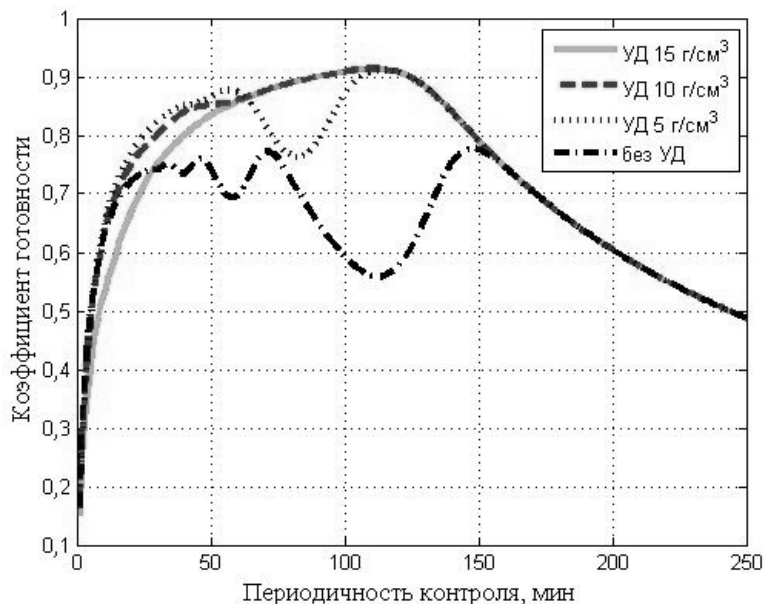


Рисунок 2 — Зависимость стационарного коэффициента готовности системы от периодичности контроля при различных величинах упреждающего допуска

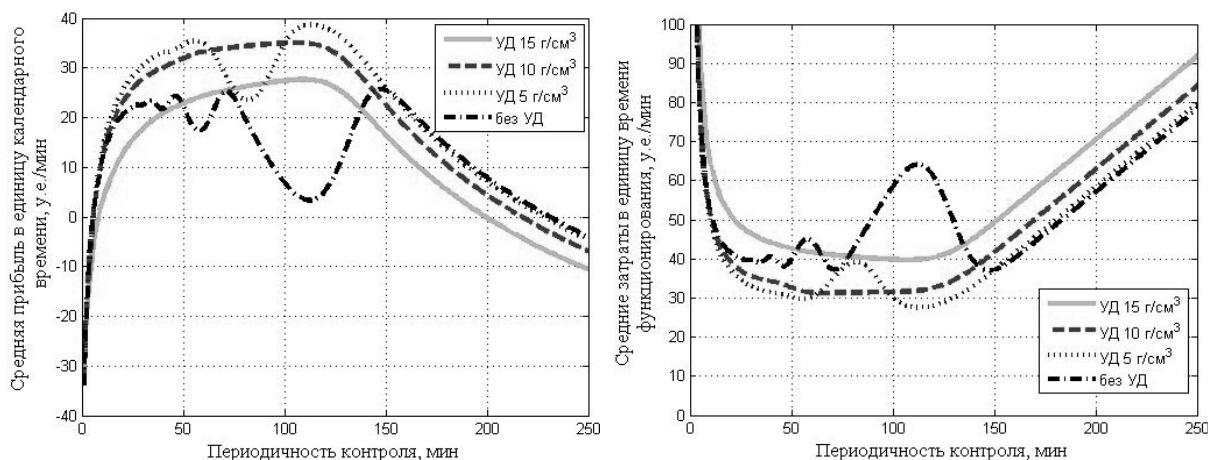


Рисунок 3 — Зависимость экономических характеристик системы от периодичности контроля при различных величинах упреждающего допуска

Из приведенных зависимостей следует, что для рассматриваемого блока флюсования ЕТС 250 в данном режиме функционирования оптимальным является величина УД ДП 5 г/см³ и периодичность контроля 112 мин.

Заключение. Предложенный математический метод поиска оптимальных величин упреждающего допуска диагностического параметра и периодичности проведения контроля технического состояния позволил автоматизировать процесс управления техническим обслуживанием блока флюсования ЕТС 250. В дальнейшем планируется разработать алгоритм оптимизации технического обслуживания установки «WS330-SF» для проведения групповой пайки печатных плат с выводными компонентами, в состав которой входит блок флюсования ЕТС 250.

Библиографический список использованной литературы

1. Медведев А.М. Сборка и монтаж электронных устройств/ А.М. Медведев — М.: Техносфера, 2007. — 256 с.

2. Установка пайки ERSA ETS-250. Руководство оператора. ERSA Loettechnik GmbH. Перевод и переработка, ред.1 ЗАО Предприятие «ОСТЕК». 2001. — 53 с.
3. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. — М.: Машиностроение, 1986. — Т.1: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А.И. Рембезы. — 224 с.
4. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход: пер. с нем./ Ф. Байхельт, П. Франкен: — М.: Радио и связь, 1988. — 392 с.
5. Вентцель Е.С. Прикладные задачи теории вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. — М.: Радио и связь, 1983. — 416 с.
6. Денисов В.И. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Методические рекомендации. Часть I. Критерии типа χ^2 / В.И. Денисов, Б.Ю. Лемешко, С.Н. Постовалов. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. — 126 с.
7. Лемешко Б.Ю. Прикладные аспекты использования критериев согласия в случае проверки сложных гипотез / Б.Ю. Лемешко, С.Н. Постовалов // Надежность и контроль качества. — 1997. — № 11. — С. 3–17.

Поступила в редакцию 14.01.2014 г.

Нікішенко О.М. Автоматизація процесу управління технічним обслуговуванням блоку пінного флюсування

Побудована напівмарківська модель виробничої системи з поступовими прихованими відмовами з урахуванням проведення контролю технічного стану. Визначено основні характеристики надійності та економічної ефективності системи із загальним видом закону розподілу випадкових величин. Побудована модель дозволила автоматизувати процес управління технологічного процесу флюсування друкованих плат на установці пайки хвилею припою.

Ключові слова: прихована відмова, контроль, діагностичний параметр, упереджувальний допуск, надійність, напівмарківська модель.

Nikishenko A.N. The automation of the process of control of maintenance of foam fluxers

The semi-Markov model of renewable system with hidden failures with the technical state control is built. The main characteristics of reliability and economic efficiency of the system with the general form of the distribution law of random variables are found. The automation of the process of monitoring the technical condition of the foam fluxers is carried.

Keywords: latent failure, control, diagnostic parameter, preventive admission, reliability, semi-Markov model.