

М.А. Поляков, В.В. Василевский

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЕФЕКТОВ В ИЗДЕЛИЯХ В ХОДЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Аннотация. Получены аналитические выражения, позволяющие основываясь на статистических распределениях вероятностей дефектов, вносимых в изделие и устраняемых из него на разных этапах технологического процесса, разработать модели технологической и контрольной операций технологического процесса. Написана компьютерная программа, реализующая предложенную модель. Выполнено моделирование фрагмента технологического процесса монтажа элементов на плату преобразователя.

Ключевые слова: технологический процесс, технологическая операция, контрольная операция, распределение дефектов, моделирование.

Постановка проблемы

Основными целями любого технологического процесса (ТП) является получение годных изделий с минимальными стоимостными затратами. ТП производства электротехнических комплексов имеют сложную структуру. В ходе их выполнения в изделия на разных этапах ТП по различным причинам, таким как несовершенство оборудования, нарушения условий выполнения операций, ошибки исполнителей и другим, вносятся дефекты. Из-за случайности факторов порождающих дефекты, количество внесенных дефектов также является случайным, и характеризуется распределением вероятностей дефектов. Операционный контроль в ходе технологической операции (ТО) или отдельная контрольная операция (КО) не гарантируют выявления всех дефектов из-за недостаточной технической эффективности средств контроля. Стоимостные затраты на пооперационный контроль, устранение дефектов и брак продукции зависят от количества дефектов в изделии. Таким образом, для анализа и более точного прогнозирования стоимостных затрат на производство изделия необходимо знать распределения вероятностей дефектов в изделии на различных этапах ТП.

© Поляков М.А., Василевский В.В., 2013

Анализ последних достижений и публикаций

Путем для решения этой задачи может служить моделирование ТО и КО с применением теории вероятности, математической статистики [1,2], а также средств программного пакета MatLAB.

Моделированию ТП и повышению их качества посвящены многие работы [3, 4], вместе с тем известные модели недостаточно учитывают корректирующие операции, влияние технической эффективности средств контроля на распределения дефектов в изделии. Разработка моделей операций ТП более полно учитывающей влияние операционного контроля на стабильность и стоимость ТП, корректирующие операции, а также погрешности средств контроля и их влияние на брак в изделии является достаточно актуальной задачей.

Изложение основного материала

Рассмотрим ТП изготовления некоторой сборочной единицы, далее узла, который имеет m характеристик качества. Несоответствие изделия требованиям ТП по каждой m -й характеристике будем считать дефектом m -го вида, $m = \overline{1, M}$. Выделим в ТП два вида операций: технологические и контрольные. Примерами ТО являются операции, на которых производится комплектация, обработка, регулировка узла, и т. п. Как уже отмечалось, в ходе выполнения ТО возможно внесение дефектов в узел. Обнаружение и, по возможности, устранение этих дефектов выполняется в ходе КО.

Статистические характеристики наличия дефектов в изделии по m -й характеристике опишем распределением вероятностей дефектов:

$$Q_m(l_m) = \frac{N(l_m)}{N}, l_m = \overline{0, L_m}, m = \overline{1, M} \quad (1)$$

где $Q_m(l_m)$ - вероятность наличия в изделии ровно l_m дефектов m -го вида;

$N(l_m)$ - количество изделий, имеющих ровно l_m дефектов m -го вида;

N - количество изделий в исходной совокупности;

L_m - максимальное количество дефектов m -го вида в изделии.

При рассмотрении изменений распределений (1) в ходе операции ТП, индексами α и β обозначим распределения вероятностей (1)

до и, соответственно, после проведения операции ТП, как КО, так и ТО.

Статистические характеристики внесения дефектов в изделие в ходе i -й ($i = \overline{1, I}$) ТО опишем распределением вероятностей дефектов:

$$U_{mi}(l_m) = \frac{N_i(l_m)}{N}, \quad l_m = \overline{0, L_m}, \quad m = \overline{1, M} \quad (2)$$

где $U_{mi}(l_m)$ - вероятность внесения в изделие в ходе i -й ТО ровно l_m дефектов m -го вида;

$N_i(l_m)$ - количество изделий, в которые в ходе i -й ТО внесено ровно l_m дефектов m -го вида.

Внесенные в ходе ТО дефекты суммируются с дефектами уже имеющимися в изделии к началу этой операции. Таким образом, статистические характеристики наличия дефектов m -го вида в изделии после выполнения ТО опишем распределением вероятностей дефектов:

$$Q_m^\beta(l_m) = \sum_{l'_m=0}^{l'_m=L_m} Q_m^\alpha(l'_m) U_{mi}(l_m - l'_m), \quad l_m = \overline{0, L_m} \quad (3)$$

где l_m , L_m - количество дефектов и наибольшее количество дефектов m -го вида в изделии;

В интервале $l_m = \overline{0, L_m}$ выделим следующие состояния изделий исходной совокупности, существенные для КО и определим вероятности попадания изделий в эти состояния:

- исправное по m -й характеристике изделие ($S_{им}$):

$$P_{им}^\alpha = Q_m^\alpha(0) \quad (4)$$

- восстанавливаемое по m -й характеристике изделие ($S_{вм}$):

$$P_{вм}^\alpha = \sum_{l_m=1}^{L_{мд}} Q_m^\alpha(l_m) \quad (5)$$

где $L_{мд}$ - наибольшее допустимое количество дефектов m -го вида в изделии;

- бракованное по m -й характеристике изделие ($S_{бм}$):

$$P_{бм}^\alpha = \sum_{l_m=l_{мд}+1}^{L_m} Q_m^\alpha(l_m) \quad (6)$$

Для определения вероятностей (4)-(6) с учетом качества КО, предложена модель КО в ТП изготовления узла, включающая этапы контроля, перепроверки, браковки и восстановления неисправных узлов.

Модель предусматривает контроль и разбраковку узлов по m характеристикам на исправные и неисправные, перепроверку результатов, браковку и восстановление изделий.

Узлы признанные неисправными на этапе контроля подвергаются перепроверке и узлы, ложно отнесенные к неисправным, снова зачисляются к исправным. Неисправные хотя бы по одной характеристике узлы направляются в сферу восстановления, где классифицируются по количеству обнаруженных дефектов на бракованные и подлежащие восстановлению. Узлы, в которых количество обнаруженных дефектов хотя бы по одной из характеристик больше допустимого, считаются бракованными и исключаются из ТП, а остальные неисправные узлы восстанавливаются, например, путем замены или ремонта неисправных элементов. Восстановленные, а также исправные по всем характеристикам узлы признаются годными и допускаются к следующей операции.

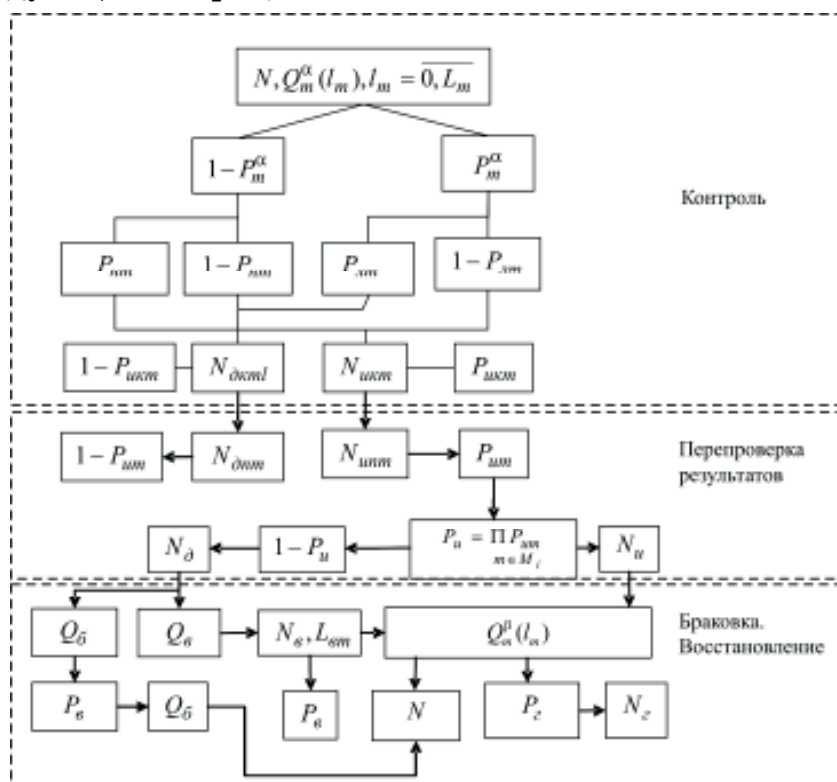


Рисунок 1 – Структурная схема статистических характеристик КО

Структурная схема статистических характеристик КО приведена на рис. 1. В ней использованы следующие обозначения:

N , N_∂ , N_u , N_z , N_σ - количество узлов, поступивших на КО, признанных дефектными, исправными, годными, бракованными, соответственно.

N_ϵ - количество узлов, восстановленных в ходе КО.

$N_{\partial km}$, $N_{икт m}$ - количество узлов, признанных неисправными (дефектными) и исправными по m -й характеристике по результатам контроля, соответственно.

$N_{\partial nm}$, $N_{инт m}$ - количество узлов, признанных дефектными, исправными по m -й характеристике после перепроверки, соответственно.

$P_{нт}$, $P_{лт}$ - вероятность необнаружения, ложного обнаружения дефектов m -го вида в ходе контроля, соответственно.

$P_{икт m}$, $P_{инт m}$ - вероятность исправности изделий по m -й характеристике после контроля и перепроверки, соответственно.

P_u - вероятность исправности изделий по всем характеристикам.

$Q_m^\alpha(l_m)$, $Q_m^\beta(l_m)$ - вероятность наличия ровно l дефектов m -го вида в изделии до и после КО, соответственно;

Q_ϵ - вероятность восстановления изделий, признанных неисправными в ходе КО.

Q_σ , P_z , P_ϵ - вероятности попадания изделия исходной совокупности в число бракованных, годных и восстановленных в результате КО.

$L_{\sigma m}$ - среднее количество дефектов m -го вида, устраненных в одном изделии в ходе КО.

Исходными данными для моделирования КО с использованием модели, показанной на рис.1, являются размер партии изделий N , статистические характеристики дефектов в изделии до проведения КО $Q_m^\alpha(l_m)$ и техническая эффективность средств контроля $P_{нт}$, $P_{лт}$.

В ходе моделирования этапа контроля находим вероятность:

$$P_{икт m} = P_{инт m}^\alpha (1 - P_{лт}) + (1 - P_{инт m}^\alpha) \cdot P_{нт} \quad (7)$$

Если предположить, что после перепроверки результатов контроля в число исправных зачисляются все изделия, ложно отнесенные к неисправным, что эквивалентно $P_{лт} = 0$.

$$P_{um} = P_{um}^{\alpha} + (1 - P_{um}^{\alpha})P_{um} \quad (8)$$

Далее из исходной партии исключаются изделия, признанные исправными:

$$N_u = N \cdot P_u = N \prod_{m \in M} P_{um} \quad (9)$$

Оставшиеся $N_o = N - N_u$ изделий, признанных неисправными, анализируются на предмет браковки или восстановления.

Вероятность восстановления изделий, признанных неисправными в ходе КО определяется с помощью зависимости (1) и ограничения $l_m \leq L_{m\delta}$:

$$Q_e = \prod_{m \in M_{\delta}} \left[\sum_{l_m=1}^{L_{m\delta}} \frac{Q_m^{\alpha}(l_m)}{(1 - P_m^{\alpha})} \right] \quad (9)$$

где M_{δ} - подмножество характеристик изделия, по которым в ходе КО обнаружены дефекты, $M_{\delta} \in M$.

С помощью предложенной модели получим вероятности перехода изделия исходной совокупности в состояние бракованного, годного и восстановленного в результате КО:

$$Q_{\delta} = (1 - Q_e) \cdot (1 - P_u); \quad (10)$$

$$P_z = Q_e \cdot (1 - P_u) + P_u; \quad (11)$$

$$P_e = (1 - P_u) \cdot Q_e. \quad (12)$$

Используя распределение (1) вычислим среднее количество дефектов L_{em}

$$L_{em} = (1 - P_{um}) \cdot \left\{ \sum_{l_m=1}^{L_{m\delta}} [Q_m^{\alpha}(l_m) \cdot l_m] \right\} \quad (13)$$

Если $P_{um} \neq 0$ хотя бы для одного $m \in M$, то в изделиях, признанных годными, могут быть дефекты не обнаруженные проверкой, и распределение (1) примет вид:

$$Q_m^{\beta}(l_m) = \begin{cases} P_{um}^{\alpha} + (1 - P_{um}) \sum_{l_m=1}^{L_{m\delta}} Q_m^{\alpha}(l_m), & l_m = 0 \\ Q_m^{\alpha}(l_m)P_{um}, & 0 < l_m \leq L_m \end{cases}, \quad (14)$$

Предложенная модель операций ТП реализована в компьютерной программе в пакете MatLAB. Использование этой программы

проиллюстрировано примером моделирования фрагмента ТП изготовления платы преобразователя (ПП). Данный ТП включает следующие операции: ТО1 – комплектация узла содержащего плату и элементы; ТО2 – монтаж и пайка элементов на плату; КО1 – контроль правильности комплектующих; КО2 – контроль правильности электрических соединений платы. Графический интерфейс программы с исходными данными и результатами моделирования приведен на рис.2. Исходными данными являются начальные распределения вероятностей дефектов одного вида в комплектующих элементах 1-3, показатели средств контроля применяемых в КО1 ($P_{н1}$) и КО2 ($P_{н2}$). Интерфейсное окно программы рис.2 показывает начальные распределения вероятностей дефектов рассчитанных по закону распределения, например, по закону Пуассона с параметром «lambda». Результаты моделирования динамики распределений вероятностей дефектов на разных этапах ТП представлены в форме таблиц (рис.2) и диаграмм (рис.3,4).



Рисунок 2 – Графический интерфейс программы для моделирования распределений дефектов

Из полученных графиков видно, что в результате КО1 и КО2 количество дефектов в изделии значительно уменьшилось, вместе с

тем часть дефектов осталась невыявленной и может быть обнаружена на дальнейших этапах ТП.

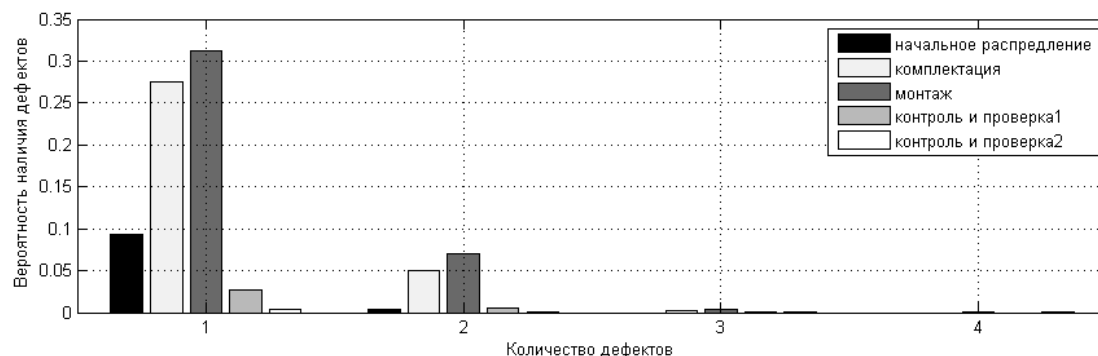
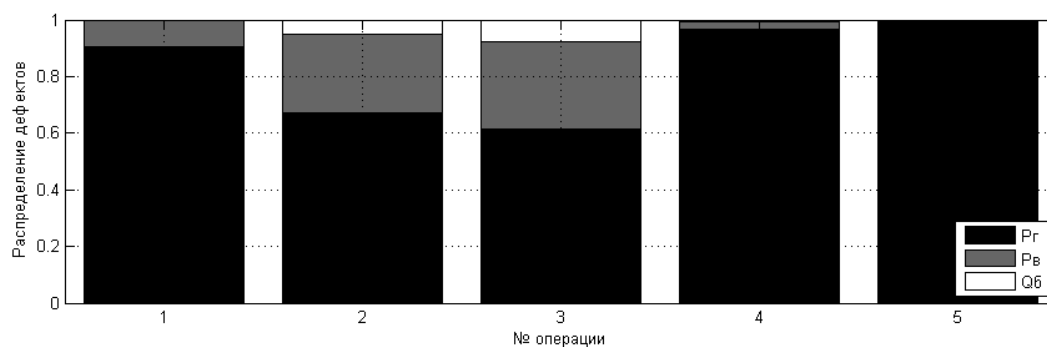


Рисунок 3 – Распределения вероятностей дефектов в изделиях на различных этапах ТП



1 – Начальное распределение вероятностей дефектов; 2 – Комплектация; 3 – Монтаж; 4 – Контроль и проверка 1; 5 – Контроль и проверка 2.

Рисунок 4 – Динамика вероятностей Q_b , P_g , P_v для различных этапов ТП

Выводы.

1. Предложены модели ТО и КО, которые позволяют описывать динамику распределений дефектов в ходе ТП.

2. Предложена программа расчета распределений дефектов вносимых в изделие и устраняемых из него в результате КО и ТО.

3. Приведен пример моделирования ТП монтажа навесных элементов на плату преобразователя. Предложенную модель и программу предполагается использовать при дальнейшей стоимостной оптимизации ТП.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Е. Гмурман Теория вероятностей и математическая статистика /.- М.: Изд-во «Высшая Школа», 2000. – 478 с.;
2. И.А. Ушаков Курс теории надежности систем / - М.: Изд-во «Дрофа», 2008. – 239 с.;
3. Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, М.Д. Киселичник Керування процесами формування та контролю заданих властивостей у виробництві електронних пристроїв / Вестник Львовского Политехнического института, №2, 2009 – стр. 7-11;
4. А. Н. Сочнев Оперативное управление производственными системами на основе сетей Петри: автореферат диссертации на получении научной степени канд. техн. наук: спец. 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка» / Красноярск, 2005 – 20 с.