

Коршунов Геннадий Иванович^{1,2},
профессор, д-р техн. наук, профессор

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СКВОЗНОЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ
БЕЗДЕФЕКТНОГО НАУКОЕМКОГО ПРОИЗВОДСТВА
ЭЛЕКТРОНИКИ**

¹ Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,

² Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; ^{1,2} kgi@pantes.ru

Аннотация. Рассмотрено наукоемкое производство электроники с современными средствами контроля несоответствий. Приведены подходы к системному анализу многошаговой оптимизации производства. Для обеспечения стратегии бездефектного производства предложена рекуррентная поэтапная последовательность плотности вероятности распределения несоответствий как дискретных случайных величин.

Ключевые слова: наукоемкое производство электроники, контроль несоответствий, плотность вероятности, рекуррентная последовательность, распределение Пуассона.

Gennady I. Korshunov^{1,2},
Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor

**SYSTEM ANALYSIS OF END-TO-END DIGITALIZATION
OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR ORGANIZING
DEFECT-FREE HIGH-TECH ELECTRONICS PRODUCTION**

¹ St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
St. Petersburg, Russia,

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia;
^{1,2} kgi@pantes.ru

Abstract. The knowledge-intensive production of electronics with modern means of monitoring non-conformities is considered. Approaches to system analysis of multi-step production optimization are presented. To ensure a defect-free production strategy, a recurrent step-by-step sequence of probability densities for the distribution of nonconformities as discrete random variables is proposed.

Keywords: high-tech electronics production, non-conformity control, probability density, recurrent sequence, Poisson distribution.

Введение

В настоящее время в российской экономике актуальными являются проблемы, связанные с цифровизацией технологических процессов производства электроники. В связи с этим особую значимость приобретает

системный анализ этапов жизненного цикла создания электроники для сквозной цифровизации и обеспечения бездефектного производства [1]. Особые трудности имеют место в многономенклатурном малосерийном наукоемком производстве.

1. Постановка задачи

1.1. Описание предметной области

Обеспечение качества электроники в определяющей степени зависит от организации разработки и производства электронных печатных плат [2]. На рисунке 1 приведен укрупненный процесс жизненного цикла производства электроники.

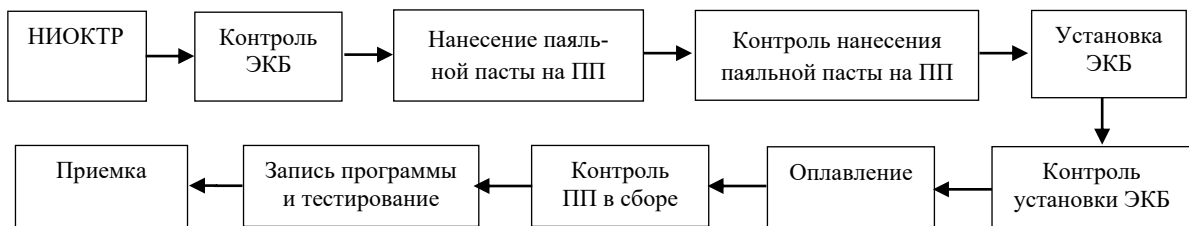


Рис. 1. Укрупненный процесс жизненного цикла производства электроники

Приведенный укрупненный процесс является стандартным для полностью или частично автоматизированных (цифровизированных) процессов. Процессы научно-исследовательских и опытно-конструкторско-технологических работ (НИОКТР) достаточно подробно рассмотрены в литературе, а его цифровизация реализуется средствами САД. Процесс контроля электронной компонентной базы (ЭКБ) от перечня элементов к ведомости покупных изделий и до входного контроля является трудноформализуемым для непосредственной цифровизации. Часть функций реализуется алгоритмически путем преобразования и отображения множеств ЭКБ [3]. Последующие процессы монтажа ЭКБ на печатные платы (ПП) автоматизированы в соответствии со стандартом [4], содержат элементы интеллектуализации и могут быть представлены в цифровой форме. Отмеченные процессы контроля реализуются автоматическими оптическими инспекциями SPI и AOI, которые фиксируют выявленные несоответствия.

Следует отметить, что в рассматриваемом наукоемком производстве результатом деятельности является преимущественно наукоемкая продукция, созданная в результате НИОКТР и изготовленная на современном оборудовании с применением наиболее прогрессивных высоких технологий. К числу особенностей и дополнительных проблем такого производства относятся многономенклатурность и малосерийность.

Процессная модель лежит в основе систем менеджмента качества и предполагает наличие первичной цели, результативности как степени достижения цели, свертки показателей качества процессов для формирования критерия результативности. Результативность в зависимости от цели может выражать различные аспекты качества: конкурентоспособность, полезность, бездефектность производства и другие критерии. В [5] цель определена как «желаемый результат, недостижимый за рассматриваемый промежуток времени, но доступный в будущем, причем за данный период к нему можно приблизиться». Такое определение подразумевает наличие остаточной неопределенности между желаемым и достигнутым результатами. В этом смысле критерий результативности для бездефектного производства может быть представлен комплементарно, как оценка достигнутого уровня несоответствий.

Совокупность процессов, как комплекс деятельности, в которой используются ресурсы для преобразования входов в выходы, может рассматриваться как система. Системный анализ технологических процессов для достижения сквозной цифровизации предназначен для выявления закономерностей функционирования, построения и анализа систем, методов принятия решений, в том числе с использованием вероятностных характеристик и в условиях неопределенности, а также применение данных методов для повышения качества управления и внедрения инноваций.

1.2. Определение проблемы

Обеспечение качества процессов производства на основе многошаговых (многоэтапных) моделей рассмотрено с применением динамического программирования [6], марковских цепей [7], методов ТРИЗ [8]. Эти и другие известные подходы всегда содержат ту или иную неопределенность, обусловленную методом и представляемую в виде оставшейся доли несоответствий или окончательного брака. Методы определения распределения вероятностей являются информативным инструментом для дальнейшего снижения неопределенности, в качестве которого в [9] используются плотности распределения случайных величин — несоответствий на отдельных этапах (процессах жизненного цикла). Построение модели из последовательно связанных значений несоответствий позволит создать на основе рекуррентных функций сквозную цифровую модель производства.

Цель работы — обеспечение организации бездефектного наукоемкого производства электроники и его сквозной цифровизации на основе системного анализа закономерностей функционирования и поэтапной оценки плотности вероятности несоответствий.

2. Моделирование системы

В условиях цифровизации плотности распределения случайных величин как несоответствий фиксируются средствами контроля — инспекциями и, в случае трудноформализуемых процессов, алгоритмически на основе диалога с ЭВМ [10].

Системное представление плотностей распределения случайных дискретных величин $P(n)$ для рассматриваемых n этапов выполняется с помощью рекурсивных функций.

Для вывода рекуррентной формулы общего члена заданы:

S_0 — количество образцов в серии;

$p_1 \dots p_n$ — вероятности несоответствий на рассматриваемых локальных этапах;

$P_1 \dots P_n$ — оценки плотности вероятности несоответствий по результатам контроля на рассматриваемых этапах с учетом предшествующих несоответствий;

N_n — количество несоответствующих образцов на n -м этапе.

Тогда представим

$$N_1 = S_0 p_1$$

$$N_2 = S_0 p_2 (1 - p_1)$$

$$N_3 = S_0 p_3 (1 - p_2 + p_1 p_2)$$

$$N_4 = S_0 p_4 (1 - p_3 + p_2 p_3 - p_1 p_2 p_3)$$

$$N_5 = S_0 p_5 (1 - p_4 + p_3 p_4 - p_2 p_3 p_4 + p_1 p_2 p_3 p_4)$$

Оценка вероятности P_n несоответствий на n -м этапе с учетом предыстории появления несоответствий на предыдущих $n-1$ этапах представлена знакопеременным рядом

$$P_n = p_n (1 - p_{n-1} + p_{n-2} p_{n-1} - p_{n-3} p_{n-2} p_{n-1} + p_{n-4} p_{n-3} p_{n-2} p_{n-1} - p_{n-5} p_{n-4} p_{n-3} p_{n-2} p_{n-1} + p_{n-6} p_{n-5} p_{n-4} p_{n-3} p_{n-2} p_{n-1} - \dots + p_{n-(n-1)} \dots p_{n-1}), n = 2k + 1.$$

Для наукоемкого производства характерно дискретное распределение Пуассона. Это обусловлено тем, что значения характеристик моделируют случайную величину, представляющую собой число событий, произошедших за фиксированное время, а события происходят с некоторой фиксированной средней интенсивностью и независимы друг от друга. В [11] указано, что использование распределения Пуассона особенно полезно в сложных производственных операциях, где возможности дефектов очень быстро увеличиваются, и вероятность получить единичный дефект в определенном месте или в определенное время мала.

Заключение

В работе приведены подходы к обеспечению качества процессов производства на основе многошаговых (многоэтапных) моделей. Получена рекуррентная формула оценка вероятности дискретных случайных

величин — несоответствий на n -м этапе с учетом предыстории появления несоответствий на предыдущих $n - 1$ этапах. Сделаны выводы о применимости дискретное распределение Пуассона для наукоемкого производства характерно. В условиях цифровизации плотности распределения случайных величин как несоответствий фиксируются средствами контроля — инспекциями на выделенных этапах производства.

Список литературы

1. Коршунов Г.И., Петрушевская А.А. Обеспечение качества продукции в интеллектуальных производствах электроники. Часть 1 // Контроль качества продукции. – 2021. – № 8 (Август 2021). – URL: <https://ria-stk.ru/mos/adetail.php?ID=202404>.
2. Коршунов Г.И., Петрушевская А.А., Смирнова М.С. Организация жизненного цикла электронной и приборной продукции в условиях технологических инноваций. – СПб.: ГУАП, 2019. – 106 с.
3. Зайцев П.С. Контроль качества технологической подготовки производства электронной продукции на основе поэтапной оценки вероятностей несоответствий // Контроль качества продукции. – 2023. – № 10 (Октябрь 2023). – URL: www.ria-stk.ru/mos.
4. IPC-Hermes-9852. The Hermes standard for vendor independent machine-to-machine communication in SMT Assembly Version 1.1. – 2018. – URL: <https://www.the-hermes-standard.info/download> (date of access: 11.10.23).
5. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах. – М., Советское Радио, 1974. – 270 с.
6. Коршунов Г.И., Балашов В.М., Поляков С.Л. Критерий и показатели эффективности внедрения инноваций на примере процесса монтажа печатных плат // Вопросы радиоэлектроники. – 2013. – № 2.
7. Korshunov G.I., Petrushevskaya A.A., Lipatnikov V.A., Smirnova M.S. Development strategy and process models for the phased automation of design and digital manufacturing electronics // MEACS, Tomsk, Russia. IOP Conference Series. – 2018. – Vol. 327. – Paper 022062. – DOI: 10.1088/1757-899X/327/2/022062.
8. Сольнищев Р.И., Коршунов Г.И. Системы управления «природа-техногеника». – СПб.: Политехника, 2013. – 206 с.
9. Сольнищев Р.И., Коршунов Г.И. Об инструментарии проектирования и производства кибер-физических систем // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – № 6 (108). – С. 96–100.
10. Korshunov G.I., Zaicev P.S., Petrushevskaya A.A. Methods and algorithms of technological preparation for organizing automatic surface mount of printed circuit boards // International scientific conference on applied physics, information technologies and engineering (APITECH-2019). Web of Science. Journal of Physics Conference Series. – 2019. – Vol. 139. – Paper 033076. – DOI: 10.1088/1742-6596/1399/3/033076.
11. Sammy G. Shina. Six sigma for electronics design and manufacturing. – McGraw-Hill, USA, 2002 – 363 p.