**УДК: 658.5.011**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

***Петрушевская А.А.***

*магистрант, инженер, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»*

Аннотация: Моделирование технологических процессов имеет важное значение в жизненном цикле изделий при внедрении концепции цифрового производства. Выбор теории графов при разработке математического моделирования основан на основных производственных этапах изготовления элементов в связи с раскрытием высокого уровня детализации моделируемого объекта и обеспечением полной взаимосвязи компонентов изделия с целью недопущения выпуска брака, а наоборот повышение качества продукции при минимальных затратах.

Ключевые слова: технологический процесс, жизненный цикл, электронная промышленность, цифровое производство, управление качеством.

**MODELLING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN**

**ELECTRONICS MANUFACTURING WITH THE INTRODUCTION OF THE CONCEPT OF DIGITAL PRODUCTION**

*Petrushevskaya A.A.*

*undergraduate, engineer, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation*

Abstract: Modeling of the technological processes is important in the life cycle the products with the introduction of the concept of digital production. The choice of graph theory in the development of mathematical modeling based on the main production stages the manufacture of items in connection with the disclosure a high level detail of the modeled object and ensuring full interconnection of the components to prevent the issue defective product, but rather the improvement product quality at minimum cost.

Keywords: the technological process, life cycle, electronic engineering, digital manufacturing, quality management

На сегодняшний день радиоэлектронная промышленность является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей,необходимых для разработки и производства высокотехнологичной наукоемкой продукции мирового уровня. Устойчивое развитие и эффективное функционирование и выполнение намеченных планов в радиоэлектронной отрасли являются необходимыми условиями достижениявысоких показателей экономического роста государства.

Актуальность производства инновационной электроники, ее миниатюризация и импортозамещение приводит к необходимости разработки методов моделирования наукоёмких задач технологических процессов промышленного производства при внедрении концепции цифрового производства.

Моделирование производственных и технологических процессов имеет важное значение в жизненном цикле изделий. Эксплуатация производимых изделий зачастую проходит в сложных условиях, в связи с чем стандартами устанавливаются высокие требования к устойчивости к внешним воздействиям, а также к качеству продукции на всем этапе жизненного цикла. Поэтому необходимо детализировано моделировать ключевые этапы технологического процесса [1].

Рис.1 Жизненный цикл радиоэлектронных устройств

При изготовлении радиоэлектронных средств основу производства составляют производственный и технологический процессы [2]. Производственный процесс изготовления устройства мониторинга мобильных объектов можно представить в виде трех основных этапов (уровней).

Первый этап представляет собой технологический процесс изготовления трекера (рисунок 2). Процесс изображен в форме графа, в котором вершина P0(product) определяет заготовку изделия из которой производится готовое устройство (вершина Pn).



Рис. 2 Модель процесса изготовления трекера

(модель первого уровня).

Для определения коэффициента технического уровня модели и расчета стоимости изделия были введены следующие обозначения:

x - технологические операции, выполняемые в процессе изготовления,

M - (materials) материалоемкость,

L - (labor intensity) трудоемкость,

F (fondintensity) фондоемкость,

aL - коэффициент дополнительных отчислений на оплату труда,

af - коэффициент дополнительных затрат на содержание производственного оборудования,

PP - (Paybackperiod) срок окупаемости затрат на производство.

Коэффициент xɣ, изображенный на этапе Pi, характеризует присоединений к основной заготовке необходимых трекеру деталей.

Значение показателей компонентов устройства определяются следующими равенствами.

$$M=\sum\_{i-1}^{n}x\_{ɣ}$$

$$L=\sum\_{n-1}^{}P\_{i} , при i=\overline{1,n}$$

$$F=\sum\_{\begin{matrix}i=0\\j=1\end{matrix}}^{\begin{matrix}n-1\\n\end{matrix}}x\_{ij}$$

Степень совершенства технической базы технического уровня производства, организационных методов, технологических приемов, обусловливающих эффективность использования трудовых, материальных ресурсов и качество готовой продукции можно определить с помощью коэффициента технического уровня (CTL - coefficientoftechnicallevel).

Значение коэффициента технического уровня проекта по изготовлению устройства мониторинга мобильных объектов определяется выражением:

$$CTL\_{1}=1-\frac{x\_{ij}}{\left(P\_{0}-a\_{L}\*P\_{i}-a\_{f}\*x\_{ij}\right)\*PP}$$

Второй этап производства представляет собой сборку изделия, в моделировании процесса участвуют существенные компоненты и элементы системы.



Рис. 3 Модель процесса сборки трекера

(модель второго уровня).

Изображенные на рисунке 3 вершины P графа определяют промежуточное состояние собираемого изделия, соединительные линии TO (technologicaloperation) описывают технологический процесс на данном этапе сборки, дуга TOɣ характеризует присоединение к элементам системы дополнительных материалов (припои, уплотнители, сплавы, мастики), необходимых для осуществления сборки.

Удельные значения коэффициента технического уровнямодели второго уровня могут определяться как для определенного технологического перехода по формуле:

$$CTL\_{2}=1-\frac{\sum\_{}^{}TO\_{ij}}{\left(TO\_{ij}+a\_{L}\*P\_{i}-a\_{f}\*\sum\_{}^{}TO\_{ij}\right)\*PP}$$

Так и для всего узла в целом:

$$CTL\_{2}=1-\frac{\sum\_{}^{}TO\_{ij}}{\left(\sum\_{}^{}TO\_{ij}+a\_{L}\*\sum\_{}^{}P\_{i}-a\_{f}\*\sum\_{}^{}TO\_{ij}\right)\*PP}$$

Заключительный этап производственного процесса изделия‒ наладка и испытание готового изделия. Именно от этого этапа в значительной степени зависит качество, работоспособность и надежность выпускаемого продукта. Технологический процесс сборки включает в себя ряд последовательных операций по установке, созданию различных видов соединений составных частей изделия, в том числе операций контроля, регулировки и испытания.



Рис. 4 Модель процесса наладки и испытания трекера

(модель третьего уровня).

В процессе наладки (регулировки) к изделию возможно присоединение материалов или необходимых элементов (Ak) для настройки трекера, а также выполнение дополнительных необходимых технологических операций (TOɣ) для корректной работы выполненного устройства.

Коэффициент технического уровня одной операции может быть определен по формуле:

$$CTL\_{3}=1-\frac{\sum\_{}^{}TO\_{ij}}{\left(TO\_{ɣ}+a\_{L}\*B\_{i}-a\_{f}\*\sum\_{}^{}TO'\_{ij}\right)\*PP}$$

Для модели третьего уровня в целом:

$$CTL\_{3}=1-\frac{\sum\_{}^{}TO'\_{ij}}{\left(\sum\_{}^{}TO'\_{ɣ}+a\_{L}\*\sum\_{}^{}B\_{i}-a\_{f}\*\sum\_{}^{}TO'\_{ij}\right)\*PP}$$

Готовое изделие может быть охарактеризовано показателями, определенными из анализа остальных элементов графа и своевременного выявления дефектов.

Для определения коэффициента технического уровня всего проекта по изготовлению устройства мониторинга мобильных объектов выражено формулой:

$$CTL=1-\frac{∆F}{\left(∆M+a\_{L}\*∆L-a\_{f}\*∆F\right)\*PP}$$

где

$$∆M=\sum\_{}^{}P\_{0}^{i}+\sum\_{i=1}^{n}\sum\_{}^{}x\_{ɣ}+\sum\_{i=1}^{n}\sum\_{}^{}TO\_{ɣ}+\sum\_{i=1}^{n}\sum\_{}^{}TO'\_{ɣ}$$

$$∆L=\sum\_{}^{}P\_{i}+\sum\_{i=1}^{n}\sum\_{}^{}P\_{i}+\sum\_{i=1}^{n}\sum\_{}^{}TO\_{ɣ}+\sum\_{i=1}^{n}\sum\_{}^{}A\_{i}$$

$$∆F=\sum\_{\begin{matrix}i=0\\j=1\end{matrix}}^{\begin{matrix}n=1\\n\end{matrix}}x\_{ij}+\sum\_{\begin{matrix}i=0\\j=1\end{matrix}}^{\begin{matrix}n-1\\n\end{matrix}}TO\_{ij}+\sum\_{\begin{matrix}i=0\\j=1\end{matrix}}^{\begin{matrix}n-1\\n\end{matrix}}TO\_{ɣ}$$

Второе суммирование при расчете коэффициентов ∆M, ∆L и ∆F производится по количеству деталей изделия, обособленных сборочных процессов и технологических операций наладке и испытания, фигурирующих в первом этапе производственного процесса, осуществляемых при изготовлении устройства.

Моделирование по этапам производства позволяет раскрыть не только структуру изделия, состоящего из отдельных элементов трекера, но и показать топологию технологического процесса его изготовления, что особенно важно при внедрении концепции цифрового производства. Выбор теории графов при разработке математического моделирования основан на основных производственных этапах изготовления элементов в связи с раскрытием высокого уровня детализации моделируемого объекта и обеспечением полной взаимосвязи компонентов изделияс целью недопущения выпуска брака, а наоборот повышение качества продукции при минимальных затратах.

**Список литературы**

1. Коршунов Г.И., Петрушевская А.А., Чуписов А.Е. Совершенствование технологических процессов при производстве и испытаниях инновационной электроники // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 10. С. 15-19.

2. Чабаненко А.В., Петрушевская А.А. Способ производства корпусов РЭА на основе комбинированной FDM технологии // Discovery Science: University - 2017. 2017. С. 93-103.