

УДК: 658.51

DOI: 10.30987/article_5c9b8b2d580145.79340136

А.А. Петрушевская

МЕТОДИКА ПОЭТАПНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОНИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕПЦИИ DFM

В статье рассмотрено применение принципов концепции индустрии 4.0 при производстве электроники с внедрением концепции Design for Manufacturing в среде компьютерной математики MatLab с целью повышения результативности производственного процесса. Технологические процессы могут быть описаны в виде математических моделей, построенных с применением аппарата цепей Маркова. На основе разработанной модели получены результаты, подтверждающие эффективность использования графов при управлении технологическими операциями.

Ключевые слова: цифровое производство, технологический процесс, электроника, математическое моделирование, управление качеством.

A. A. Petrushevskaya

METHODOLOGY OF PHASED ORGANIZATION FOR DIGITAL PRODUCTION TO ENSURE THE QUALITY OF ELECTRONICS USING THE CONCEPT OF DFM

The article deals with the application of the principles of the industry concept 4.0 for the production of electronics with the introduction of the Design for Manufacturing concept in the MatLab computer mathematics environment in order to increase the productivity of the production process. Technological processes can be described in the form of mathematical models constructed using the Markov chains. On the basis of the developed model, the results confirming the effectiveness of the use of graphs in the management of technological operations are obtained.

Keywords: digital production, technological process, electronics, mathematical modeling, quality management.

Повышение результативности производства электроники для электронных изделий и увеличение выхода годных возможно при адаптации некоторых принципов концепции «Индустрии 4.0» с помощью технологических инноваций на всех этапах жизненного цикла производимой продукции. Для повышения качества продукции необходимо создание и применение модели системы мониторинга процесса изготовления электроники на всем этапе жизненного цикла, моделирование этапов производственного процесса осуществляется с помощью цепей Маркова. Концепции «киберфизических систем» и «интернета вещей» являются атрибутом нынешнего этапа инновационного развития, а их реализация в виде «цифрового производства» охватывают все этапы жизненного цикла.

Однако для разработки технологий и производственного цикла должны быть сформирована стратегия развития, определяющая выбор методов и средств процессов автоматизации. Такие процессы могут быть реализованы поэтапно для разработки и цифрового производства электроники. В этой области постоянно развивающаяся область, по крайней мере, две стратегии развития. Первая - эффективное использование оборудования, включая оптимизацию режимов работы и загрузки оборудования, повышение производительности труда [1, 9]. Вторая - обеспечение качества продукции на стадии проектирования [7, 10]. Одновременная реализация двух или более стратегий неэффективна, поэтому для рассматриваемых в статье процессов первая стратегия была признана менее актуальной. Это подтверждено успешным опытом надежного оборудования при выполнении требований эксплуатации. Актуальность второй стратегии определяется несоответствиями

проектной документации, такими как диаграмма электрических, ошибки выбора базовой базы компонентов, результаты проектирования файлов PCB и Gerber.

Для выпуска изделий нового поколения и освоения новых технологий для производства отвечающей современным требованиям радиоэлектроники направлены современные разработки и производства высокотехнологичной наукоемкой продукции. Актуальность производства инновационной электроники, ее миниатюризация и импортозамещение приводит к необходимости разработки методов моделирования технологических процессов.

Рассмотрим некоторые методы и технологии, необходимые для развития процессов поэтапной автоматизации разработки и цифрового производства электронных печатных плат. Дизайн электронной печатной платы выполняется как процесс преобразования и дополнения первичной цифровой модели. Дальнейшие этапы мониторинга, диагностики, тестирования, технического обслуживания также используют результаты трансформации модели.

Электрическая схема выполняется с помощью проектных инструментов PCAD. Результатом сквозного процесса проектирования является файл PCB. Инструменты Design for Manufacturing (DFM) обеспечивают устранение несоответствий в соответствии с требованиями стандартов IPC в ходе этого процесса.

Технологические процессы поэтапной разработки и автоматизации цифрового производства электроники рассмотрены в [5,6,8]. Последовательность процессов может быть развита и улучшена, однако для разработки моделей, не нарушая целостности, рассмотрены процессы, приведенные в таблице 1. Там же обозначены вероятности достижения состояния процессов. В дальнейшем предполагается, что процессы неидеальны и требуемое улучшение. Любые отклонения от требований к процессам нарушения переходов в общем состоянии несоответствия. Детализация отклонений и классификация несоответствий должны быть рассмотрены отдельно.

Таблица 1 Описание процессов

| № | Описание процесса | Вероятность состояния |
|-------|--|-----------------------|
| 1 | Разработка принципиальной электронной схемы | P_1 |
| 2 | Проектирование и коррекция топологии печатной платы в соответствии с требованиями стандартов IPC | P_2 |
| 3 | Изготовление печатных плат | P_3 |
| 4 | Печать и осмотр паяльной пасты | P_4 |
| 5 | Установка компонентов | P_5 |
| 6 | Оплавление в печи | P_6 |
| 7 | Лазерная маркировка | P_7 |
| 8 | Автоматический оптический контроль | P_8 |
| f_i | Состояние несоответствия | P_{fi} |

При выполнении операции необходимо рассмотреть вероятность перехода из предыдущего состояния "i" в последующее состояние "j" в соответствии с требованиями как P_{ij} . При отклонении вероятность перехода в состояние несоответствующей продукции (fail) представлено как P_{if} .

Вероятности перехода задаются матрицей:

$$S(0)=S1 \Rightarrow P1(0)=1, P_i(0)=0, i=2,7, f$$

$$P = \begin{bmatrix} 0 & P_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{1f} \\ 0 & 0 & P_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{2f} \\ 0 & 0 & 0 & P_{34} & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{3f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{45} & 0 & 0 & 0 & P_{4f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{56} & 0 & 0 & P_{5f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{67} & 0 & P_{6f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{78} & P_{7f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{8f} \\ P_{f1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Если $P_i(\emptyset)=0$, то на графе перехода нет. $i=\overline{1,7}, f=\overline{1,7}$

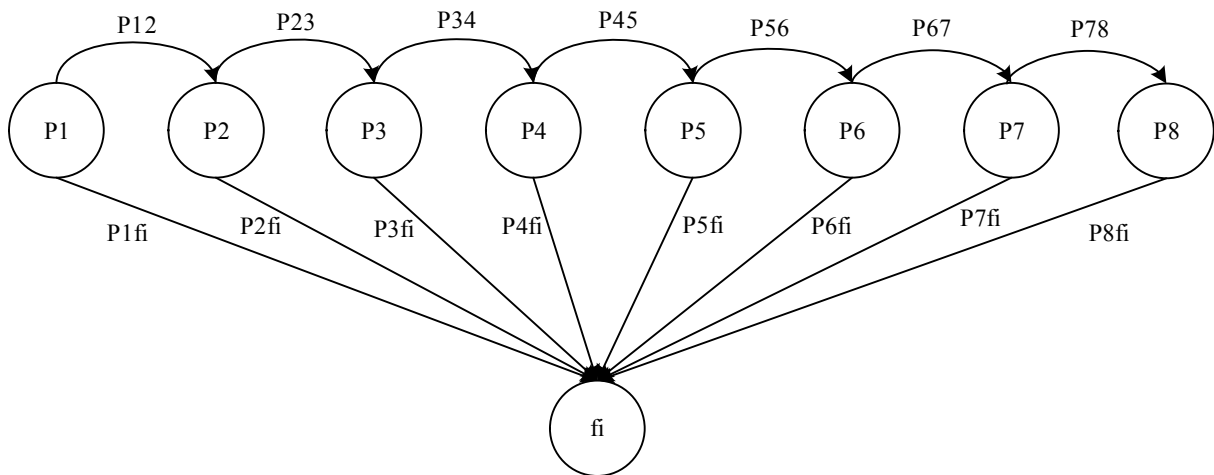


Рис. 2. Изменение регулируемой переменной и управляющего воздействия при начальном отклонении переменных состояния от статики

Моделирование по этапам производства позволяет раскрыть не только структуру изделия, но и показать топологию технологического процесса его изготовления. 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.

Для оценки результативности производственного процесса и построение прогнозных значений выхода годных через n количество партий построена программа в MatLab (рис. 2, 4).

Функция QualityProbability с тремя параметрами:

- reqProb - нижний порог вероятности качественной продукции,
- nChainUnits - число звеньев производственной цепочки,
- nIterations - количество повторений вычислений % одной цепочки, где одна итерация соответствует вычислению переходов % между всеми звеньями одной цепочки

functionAvgProb = QualityProbability(reqProb,nChainUnits,nIterations)

Начальное значение суммы вероятностей каждой цепочки Sum = 0;

Организуем цикл вычислений вероятности качественной продукции for i=1:nIterations

Начальное значение вероятности в одной цепочке (в дальнейшем значение вероятности будет получено путем умножения, поэтому перед началом вычислений присвоено значение 1.

```
QualityProb=1;
```

Цикл вычислений одной цепочки состоит из nChainUnits звеньев:

```
for j=1:(nChainUnits-1)
```

На каждом шаге вычислим вероятность отсутствия брака при переходе к следующему звену производственной цепочки.

Например, для нижнего порога 0.98 и 8 звеньев на каждом шаге осуществляется умножение на случайную величину в интервале $[0.98^{1/7}, 1]$, то есть $[0.9966, 1]$

```
QualityProb=QualityProb*(realpow(reqProb,1/(nChainUnits-1))+rand(1,1)*(1-  
realpow(reqProb,1/(nChainUnits-1))));
```

```
end
```

Текущее значение суммы вероятностей увеличивается на вероятность качественной продукции рассмотренной цепочки:

```
Sum = Sum + QualityProb;
```

```
end
```

Среднее значение определяется, разделив текущее значение суммы вероятностей на число итераций:

```
AvgProb=Sum/nIterations.
```

С помощью написанной программы были получены значения вероятностей перехода.

```
>>QualityProbability(0.98,8,1)
```

```
ans =
```

```
0.9885
```

```
>>QualityProbability(0.98,8,10)
```

```
ans =
```

```
0.9899
```

```
>>QualityProbability(0.98,8,50)
```

```
ans =
```

```
0.9902
```

```
>>QualityProbability(0.98,8,100)
```

```
ans =
```

```
0.9900
```

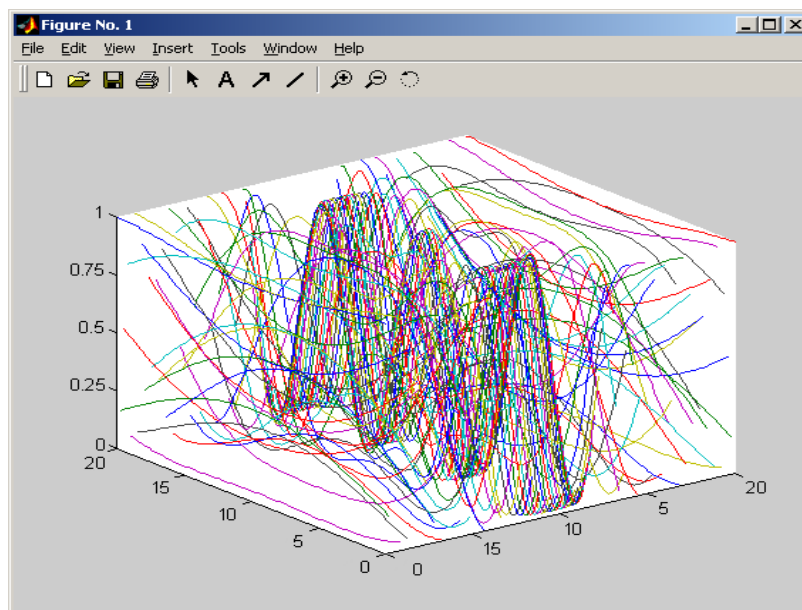


Рис. 2. Вероятности выхода годных изделий без использования

На рисунках 2 - 5 представлены вероятности выхода годных изделий в зависимости от рассматриваемых партий, так при изготовлении 1 партии продукции выход годных изделий будет равен 0,9896, при изготовлении 5 партии выход годных изделий будет равен 0,9992, при 10 – 0,9900, при 65 - 0,9901 и т.д. На рисунках 3 и 4 построен тренд, отображающий тенденцию изменения выхода годных при использовании обозначенных процедур.

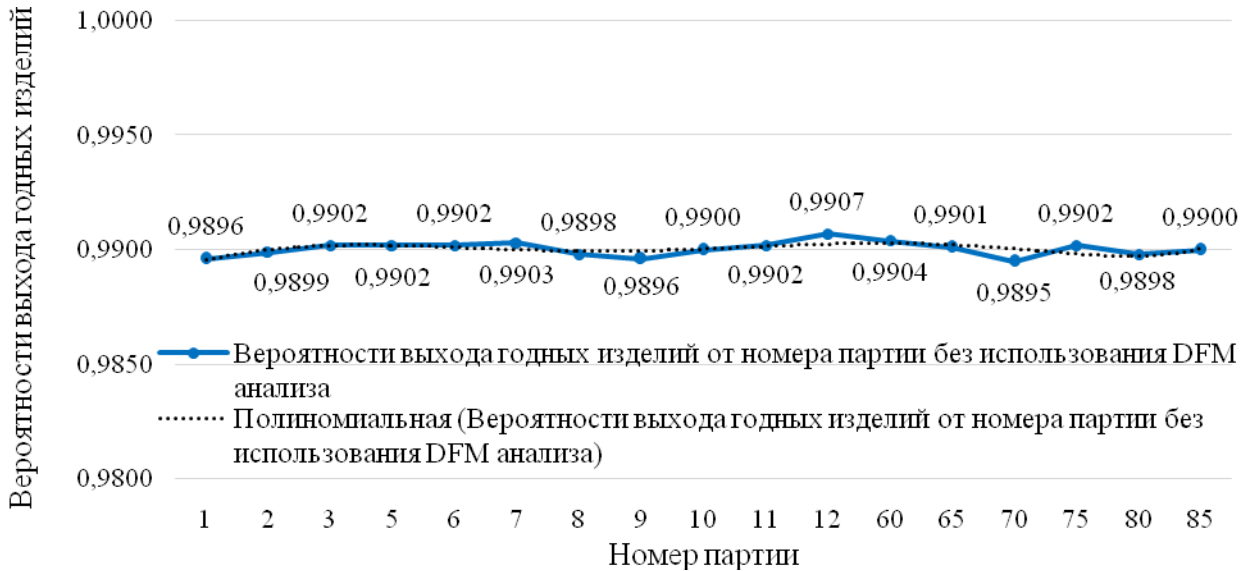


Рис.3. Зависимость вероятностей выхода годных изделий от номера партии

Для повышения результативности процесса производства электроники необходимо применение DFM-анализа на всех этапах изготовления компонентов, позволяющий избежать сложности в производстве на самой ранней стадии обнаружения несоответствия.

1. DFM-анализ проводится по запросу клиента перед подготовкой файлов плат для производства (на этапе запроса). Так, чтобы у клиента оставалось время внести корректировки в файлы.

2. В процессе анализа выявляются несоответствия между платой и спецификацией (лишние компоненты в спецификации, несоответствие корпуса компонента посадочному месту на плате и пр.). Несоответствия выявляются в проекте, а не на готовых платах, что позволяет:

- значительно уменьшить время запуска блоков в производство
- снизить материальные затраты
- избежать ручной допайки блоков

3. Проверка проходит с учетом требований IPC и возможностей нашего производств

4. В результате анализа клиент получает отчет о всех выявленных несоответствиях DFM-анализ может проводиться для всех видов электронных блоков, наибольший выигрыш проявляется на сложных электронных блоках, содержащих большую номенклатуру разнородных электронных компонентов.

На рисунке 5 представлена зависимость вероятностей выхода годных изделий от номера партии с использованием и без использования DFM-анализа. Из графиков зависимостей следует, что с использованием DFM-анализа в процессе изготовления электроники, процент выхода годных изделий с каждой партией увеличивается, что говорит о необходимости применения данного аппарата в производственном процессе.

Моделирование по этапам производства с применением в процессе изготовления электроники позволяет раскрыть не только структуру изделия, состоящего из отдельных элементов трекера, но и показать топологию технологического процесса его изготовления.

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. Использование DFM-анализа в компьютерной среде MatLab в производстве и исправление ошибок до начала процесса производства позволяет сократить сроки подготовки и гарантированно выполнить обязательства перед заказчиками по качеству изделий.

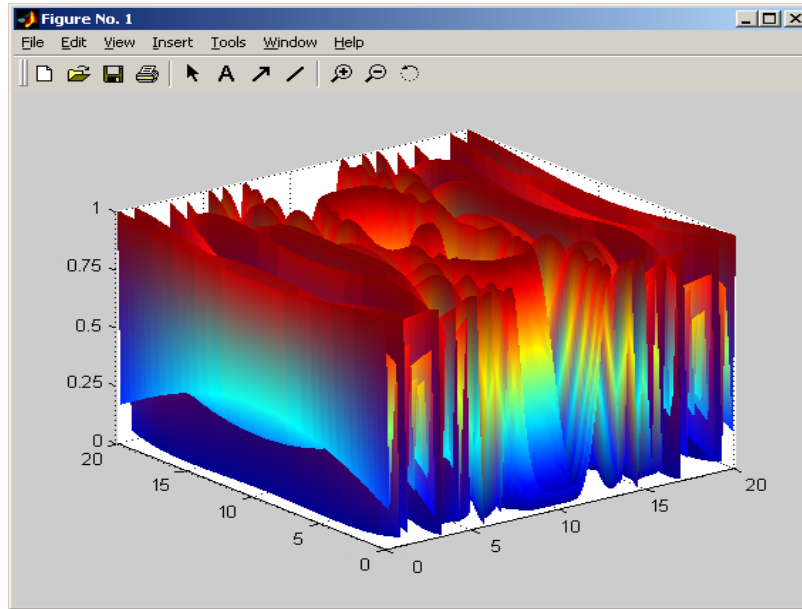


Рис.4. MatLab модель вероятностей выхода годных изделий с использованием DFM-анализа

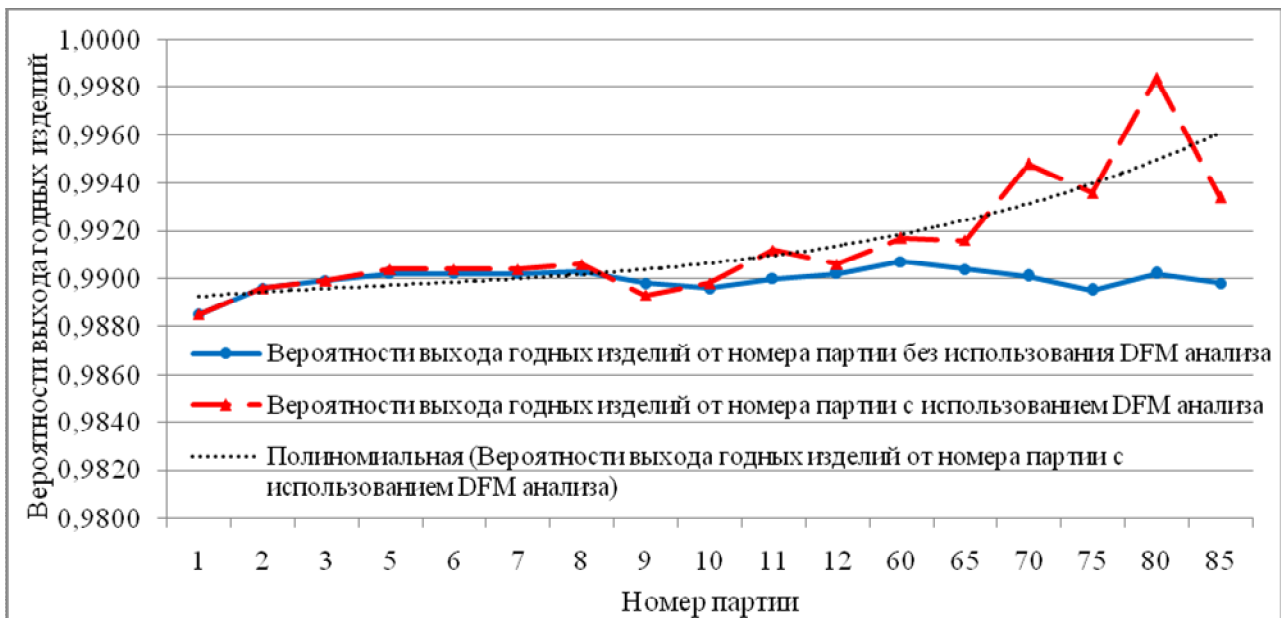


Рис.5. Вероятности перехода с использованием DFM

Используя производственное оборудование промышленного интеллекта (Smart Manufacturing), получающее в процессе производства информацию об измененных требованиях, самостоятельно может внести корректирующие действия в технологический процесс, который со временем обеспечит гибкость и адаптируемость производства к условиям современного рынка. Это основано на опытном подходе, направленном на то, чтобы подчеркнуть будущую разработку новых технологий, придающих большое значение,

например DFM. Простые инструменты DFM демонстрируют эффективность для нескольких этапов автоматизации. Основная цель - охватить весь жизненный цикл электроники цепочкой процессов на основе первичной цифровой модели. В этой цепочке также будет проходить этап тестирования, техническое обслуживание и ремонт. Техническая реализация должна содержать М2М и «Интернет вещей».

Список литературы:

1. Внедрение 4.0. Развитие Индустрии 4.0. Основы, моделирование и примеры из практики. Под Ред. Армина Рота. М.: Техносфера, 2017. - 294 с.
2. www.pantes.ru
3. ГОСТ Р ИСО 9000:2015. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартинформ, 2015. 87 с. 27.
4. ГОСТ Р ИСО 9001:2015. Основные положения и словарь. М.: Стандартинформ, 2015. 92 с.
5. Коршунов Г.И., Петрушевская А.А. Повышение результативности производства электроники для инновационных автомобильных систем на принципах «Индустрии 4.0»: Инновации. 2017. С. 13 □ 16.
6. Коршунов, Г.И. Сокращение времени производственного цикла на основе внедрения методов менеджмента и технологических инноваций / Г.И. Коршунов, С.Л. Поляков. // Информационно-управляющие системы / ГУАП. 2013. №4. С.78□82.
7. Липкин Е.Б. Индустрия 4.0 □ потенциальный стимул развития отечественной радиоэлектронной промышленности: Вектор, 2017. № 5. С. 10 □ 14.
8. Петрушевская А.А. Моделирование технологических процессов в производство электроники при внедрении концепции цифрового производства. // Сб.науч.тр. I Международной научно-практической кон-ференции "САПР и моделирование в современной электронике"/под ред. Л.А. Потапова, А.Ю. Дранкина. - Брянск: БГТУ, 2017. С. 189□194.
9. Черняк Л. Киберфизические системы на старте: Открытые системы. СУБД, 2014. № 2. С. 10 – 13.
10. Design for Manufacturability And Statistical Design: A Constructive Approach, by Michael Orshansky, Sani Nassif, Duane Boning ISBN 0-387-30928-4

References:

1. Implementation 4.0. (2017). Industry Development 4.0. Basics, modeling and examples from practice. Under Ed. Armina Roth. Moscow: Technosphere. 294 p.
2. www.pantes.ru
3. GOST R ISO 9000: 2015. (2015). Quality management systems. Requirements. Moscow: Standardinform, 87 p. [in Russian language]
4. GOST R ISO 9001: 2015. (2015). The main provisions and vocabulary. Moscow: Standardinform, 92 p. [in Russian language]
5. Korshunov G.I., Petrushevskaya A.A. (2017). Improving the performance of electronics production for innovative automotive systems based on the principles of Industry 4.0: Innovations. pp. 13-16. [in Russian language]
6. Korshunov, G.I. Reducing the time of the production cycle based on the introduction of management methods and technological innovations G.I. Korshunov, S.L. Polyakov. (2013). Information management systems SUAI. 2013. №4. pp.78-82. [in Russian language]
7. Lipkin E. B. (2017). Industry 4.0 - potential stimulus for the development of the domestic electronics industry: Vector. No. 5. pp. 10-14. [in Russian language]
8. Petrushevskaya A.A. (2017). Modeling of technological processes in the production of electronics when introducing the concept of digital production. Collection of scientific papers. I International Scientific and Practical Conference "CAD and Modeling in Modern Electronics" ed. L.A. Potapova, A.Yu. Drankina. Bryansk: BSTU. p. 189-194. [in Russian language]
9. Chernyak L. (2014). Cyber-physical systems at the start: Open systems. DBMS. № 2. P. 10 - 13. [in Russian language]
10. Design for Manufacturability And Statistical Design: Constructive Approach, by Michael Orshansky, Sani Nassif, Duane Boning ISBN 0-387-30928-4

Статья поступила в редколлегию 20.02.19.

Рецензент: д.т.н., доцент Брянского государственного технического университета

Аверченков А.В.

Статья принята к публикации 25.02.19.

Сведения об авторах:

Петрушевская Анастасия Андреевна

Инженер центра координации научных исследований, магистрант кафедры инноватики и интегрированных систем качества ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

Тел.: 8(911)844-30-44

E-mail: a.petra.ip@gmail.com, aap@guap.ru

Тел. рабочий: 8-4932-32-72-26.

Тел. сот: 8-915-837-94-53.

E-mail: nevinityn@gmail.com

Information about authors:

Petrushevskaya Anastasia Andreevna

Leading Specialist of the Center for Coordination of Research, Postgraduate Student of the Department of Innovation and Integrated Quality Systems Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Тел.: 8(911)844-30-44

E-mail: a.petra.ip@gmail.com, aap@guap.ru