

# Повышение результативности производства электроники для инновационных автомобильных систем на принципах «индустрии 4.0»



**Г. И. Коршунов,**  
*д. т. н., профессор/генеральный директор*  
kgi@pantes.ru



**А. А. Петрушевская,**  
*ассистент/инженер*  
a.petra.ip@gmail.com

**Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения/ООО «Пантес Групп»**

*В статье рассмотрено применение принципов концепции «индустрии 4.0» с целью повышения результативности производственного процесса изготовления изделий электроники. Технологические процессы могут быть описаны в виде математических моделей, построенных на основе аппарата марковских цепей. При разработке математической модели необходимо произвести пооперационную детализацию технологического процесса. Для решения этой задачи в статье используется теория графов.*

**Ключевые слова:** электронная промышленность, технологический процесс, жизненный цикл, математическая модель, умное производство, «индустрия 4.0».

**И**нновации как правило внедряются в массовом продукте, производство которого обеспечено технологическими инновациями с постоянно возрастающей ролью цифрового производства.

В статье рассмотрены вопросы совершенствования производства электроники для автомобильных систем. Автомобильная промышленность активно развивается, в ней создаются инновации и первыми трансформируются в массовый рыночный продукт.

Существующие системы геомониторинга мобильных объектов, применяемые в автомобильной промышленности осуществляют измерение с помощью GPS-устройств.

Спецификой изготовления систем мониторинга мобильных объектов являются ежедневно возрастающие требования к производству на протяжении всего жизненного цикла, а необходимое повышение качественных показателей автомобильных систем связано с эксплуатацией производимой продукции в экстремальных условиях, которыми являются резкое повышение температурных режимов и механические воздействия.

Проблема организации мониторинга производства качества изделий радиоэлектроники сводится к методам послепроизводственного контроля, т. е. проведению контроля изделия на всех технологических

этапах от входного визуального контроля компонентов и заготовок печатных плат до выходного функционального контроля. Оказание влияния непосредственно на контроль до начала производства сводится к проверке входных показателей аппаратуры и проведению тестов на ее работоспособность.

Повышение результативности производства электроники для инновационных автомобильных систем и увеличение выхода годных возможно при адаптации некоторых принципов концепции «индустрии 4.0» с помощью технологических инноваций. Для повышения качества продукции необходимо создание и применение модели системы мониторинга процесса изготовления GPS-трекера 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.

Основная цель состоит в том, чтобы использовать прогресс, достигнутый при помощи информации, коммуникаций и технологий, ожидаемый от перехода к умному производству в ближайшем будущем для развития промышленных предприятий. Одной из наиболее сложных задач повышения результатив-

Основные признаки КФС

№	Признак	Определение	Сущность
1	Идентифицированность	Процесс присвоения каждому отдельному физическому объекту идентификационного обозначения, по которому его можно будет отличить от остальных объектов (метки)	Возможность отслеживать каждый отдельный физический объект, определенный с помощью меток. За счет датчиков КФС способны собирать данные и преобразовывать в механическое движение при помощи исполнительных элементов, воздействуя на производственный процесс
2	Взаимодействие через интернет вещей и услуг	«Индустриальный Интернет вещей» — это концепция вычислительной сети, объединяющей промышленные производственные системы на уровне технологических процессов, киберфизических машин и интеллектуальных систем управления	Взаимодействие, обеспечиваемое за счет высокой производительности встраиваемых систем и специализированного пользовательского интерфейса, позволяет напрямую обращаться к средствам производства через Интернет и посылать обработанные данные в виде управляющих сигналов производственному оборудованию
3	Наличие глобальных вычислений	Совокупность подходов, инструментов и методов обработки больших объемов данных для получения результатов, которые пригодны для восприятия человеком	Каждый идентифицированный объект, оснащенный соответствующей микроэлектронной и сенсорной техникой, должен обладать способностью обрабатывать и передавать сведения и данные с помощью глобальных вычислений
4	Облачная обработка данных	Технология обработки данных, в которой компьютерные ресурсы предоставляются как Интернет-сервис	Облачная обработка данных позволяет контролировать и обслуживать систему в режиме реального времени

ности производства электроники для инновационных автомобильных систем, поставленных перед российскими предприятиями является непротиворечивое встраивание киберфизических технологий в производственные системы, подготовка и переоборудование производственной базы для увеличения объемов производимой продукции, повышения ее качества.

Корректная организации производства с использованием дополнительных коммуникационных возможностей и частичной автономии позволяет преобразовывать мехатронные системы в киберфизические системы (CPS или КФС) [1]. Для успешного внедрения КФС необходимо максимально детализировать процесс изготовления продукции от этапа закупки комплектующих до отгрузки клиентам и последующего анализа ее на всех этапах жизненного цикла. Цели, полученные от преобразования мощностей, являются уникальными инновационными разработками ввиду специфики каждого конкретного предприятия.

Концепция четвертой промышленной революции позволяет упростить управление производством на

следующих уровнях: процессы, организация, технология, персонал и проекты — путем создания соответствующих сетей и стандартизации. Основные признаки КФС приведены в табл. 1.

«Индустрия 4.0» предполагает объединение Интернет-технологий с производственным оборудованием и средствами автоматизации, направленное на организацию и контроль всей цепи создания стоимости на протяжении всего производственного цикла изготовления продукции (рис. 1). Применительно к рассматриваемому производству [2] признаки КФС реализуются лазерными метками, вычислительными сетями, обработкой данных и управлением оборудованием по оффлайн-разработанным программам, развитой системой серверов. Дальнейшее развитие предполагает постепенное наращивание «Интернета вещей» и онлайн-вычислений. Внедрение других известных компонентов «индустрии 4.0» и сокращение «человеческого фактора» определяется задачами повышения результативности производства. Требования к современным СМК [3, 4] включают оценку результативности и рисков процессов [5]. При этом формальное представление

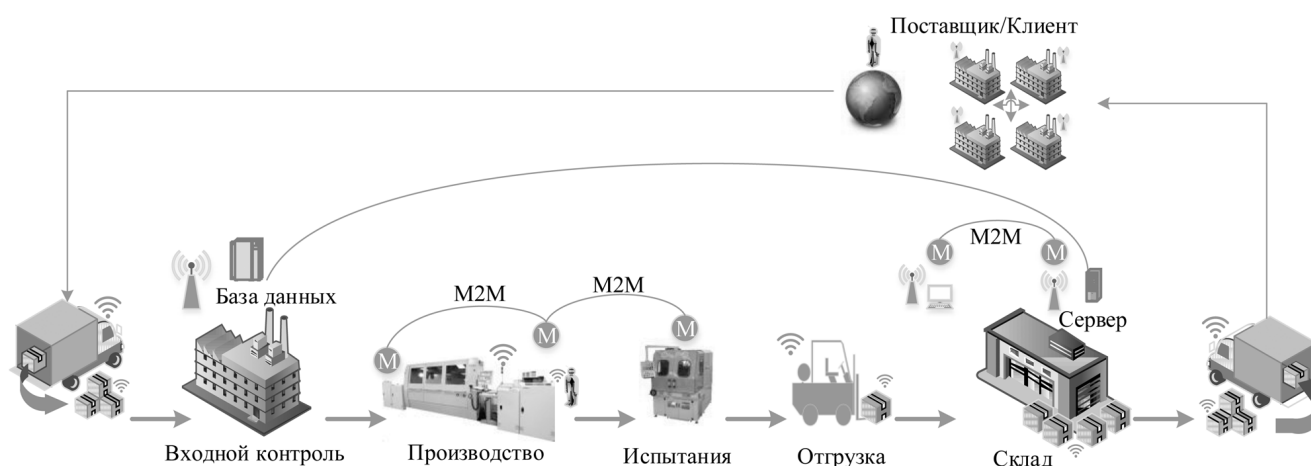


Рис. 1. Производство электроники

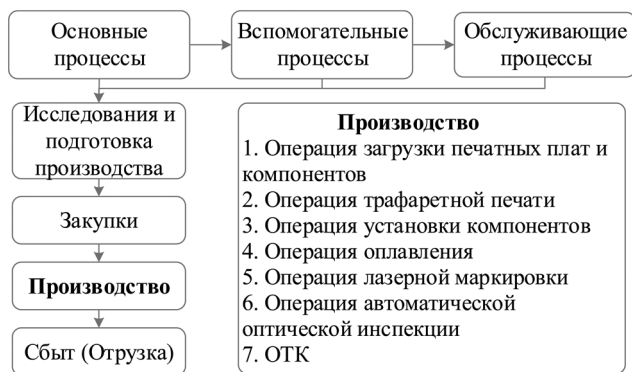


Рис. 2. Производственный процесс производства электроники

процессов как «преобразование входов в выходы» может быть развито на основе математических моделей. В статье для этого используется аппарат марковских цепей (далее – МЦ) [6, 7].

Важным частным критерием результативности является процент брака продукции. Для повышения результативности рассмотрим состав, структуру и математическую модель производства электроники.

В автомобилях предложены как различные системы и устройства для обеспечения инновационных сервисов, в том числе для противоугонных систем [8] и систем нейтрализации вредных выхлопов [9, 10], которые создаются в рамках указанных концепций, однако их особенности должны быть рассмотрены отдельно.

Состав производственного процесса производства электроники представлен на рис. 2.

Представим производственный процесс последовательностью состояний, каждое из которых является результатом выполнения операции (рис. 3).

При выполнении операции рассмотрим вероятность перехода из предыдущего состояния  $i$  в последующее состояние  $j$  в соответствии с требованиями как  $P_{ij}$ . При несоответствии представим вероятность перехода в состояние несоответствующей продукции (fail) как  $P_{if}$ . Граф переходов состояний представлен на рис. 4.

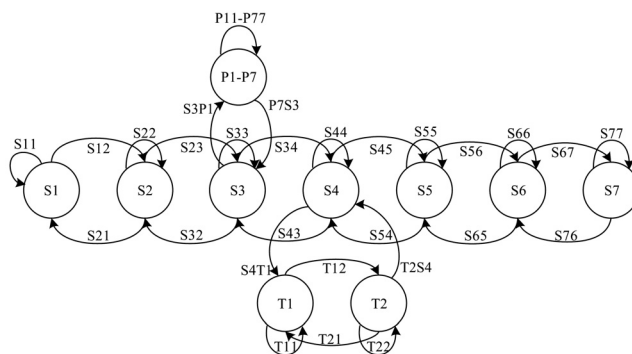
Вероятности перехода задаются матрицей:

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

$$\|P_{ij}\| = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} & p_{16} & p_{17} & p_{1f} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} & p_{25} & p_{26} & p_{27} & p_{2f} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} & p_{35} & p_{36} & p_{37} & p_{3f} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} & p_{45} & p_{46} & p_{47} & p_{4f} \\ p_{51} & p_{52} & p_{53} & p_{54} & p_{55} & p_{56} & p_{57} & p_{5f} \\ p_{61} & p_{62} & p_{63} & p_{64} & p_{65} & p_{66} & p_{67} & p_{6f} \\ p_{71} & p_{72} & p_{73} & p_{74} & p_{75} & p_{76} & p_{77} & p_{7f} \\ p_{f1} & p_{f2} & p_{f3} & p_{f4} & p_{f5} & p_{f6} & p_{f7} & p_{ff} \end{pmatrix}.$$

Если  $P_i(\emptyset) = 0$ , то на графе перехода нет:

$$i = \overline{1, 7}, f = \overline{1, 7},$$



$$S = \begin{pmatrix} S11 & S12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S21 & S22 & S23 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S32 & S33 & S34 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S43 & S44 & S45 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S54 & S55 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S65 & S56 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S66 & S67 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S76 & S77 \end{pmatrix}$$

Рис. 3. Граф перехода производственного процесса производства электроники

$$\|P_{ij}\| = \begin{pmatrix} 0 & p_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{1f} \\ 0 & 0 & p_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{2f} \\ 0 & 0 & 0 & p_{34} & 0 & 0 & 0 & p_{3f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{45} & 0 & 0 & p_{4f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{56} & 0 & p_{5f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{67} & p_{6f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{7f} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{ff} \end{pmatrix}.$$

Представим результативность процесса как уменьшение значения вероятности состояния несоответствия, которое определяется оценкой вероятностей состояний на  $i$ -м шаге МЦ. Распределение вероятностей состояний в начале процесса  $P1(0), P2(0), \dots, P7(0)$  задается на основе накопленных статистик, а и вероятностей переходов определяются текущим состоянием технологических процессов.

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

$$P2(1) = P1(0) * P12 + P2(0) * P22 + P3(0) * P32 + P4(0) * P42 + P5(0) * P52 + P6(0) * P62 + P7(0) * P72 + P_{f2}(0) * P_{f2} = 1 * 0,9966 + 0 * 0 + 0 * 0 + 0 * 0 + 0 * 0 + 0 * 0 + 0 * 0 + 0 * 0 = 0,9966,$$

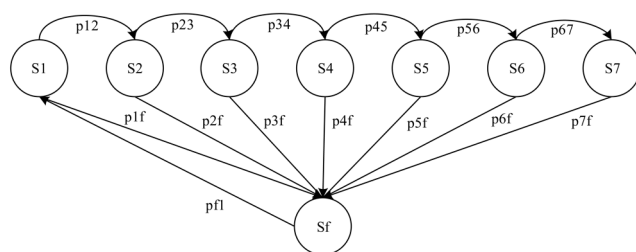


Рис. 4. Граф вероятностей перехода производственного процесса производства электроники

$$P3(2)=P1(1)*P13+P2(1)*P23+P3(1)*P33+P4(1)*P43+P5(1)*P53+P6(1)*P63+P7(1)*P73+Pf(1)*Pf3=0*0+0,9966*0,9966+0*0+0*0+0*0+0*0+0*0=0,9932,$$

$$P4(3)=P1(2)*P14+P2(2)*P24+P3(2)*P34+P4(2)*P44+P5(2)*P54+P6(2)*P64+P7(2)*P74+Pf(2)*Pf4=0*0+0*0+0,9932*0,9966+0*0+0*0+0*0+0*0=0,9898,$$

$$P5(4)=P1(3)*P15+P2(3)*P25+P3(3)*P35+P4(3)*P45+P5(5)*P55+P6(3)*P65+P7(3)*P73+Pf(3)*Pf5=0*0+0*0+0*0+0,9898*0,9966+0*0+0*0+0*0+0*0=0,9864,$$

$$P6(5)=P1(4)*P16+P2(4)*P26+P3(4)*P36+P4(4)*P46+P5(4)*P56+P6(4)*P66+P7(4)*P76+Pf(4)*Pf6=0*0+0*0+0*0+0*0+0,9864*0,9966+0*0+0*0+0*0=0,983,$$

$$P7(6)=P1(5)*P17+P2(5)*P27+P3(5)*P37+P4(5)*P47+P5(5)*P57+P6(5)*P67+P7(5)*P77+Pf(5)*Pf7=0*0+0*0+0*0+0*0+0*0+0*0+0,983*0,9966+0*0+0*0=0,9796.$$

Анализ значений и изменений вероятностей состояний, в том числе  $P_j$  на  $i$ -м шаге МЦ может быть выполнен выполняется с помощью аппарата ФМЕА [11, 12]. Тогда корректирующие действия по совершенствованию процессов включают дополнение технологическими инновациями в соответствии с принципами «индустрии 4.0». Такой анализ целесообразно выполнять по результатам выпуска каждой промышленной партии изделия, когда при заданном распределении вероятностей состояний в начале процесса и вероятностях переходов МЦ может быть получено новое распределение вероятностей состояний, выполнена его оценка с применением ФМЕА и приняты меры для изменения вероятностей переходов. Это достигается внедрением технологических инноваций на основе принципов «индустрии 4.0».

Применение предложенных подходов и оценок обеспечило устойчивое снижение процента брака.

Практическое воплощение постепенной трансформации процессов на основе принципов «индустрии 4.0» было рассмотрено в докладе А. В. Бреус «Система мониторинга эффективности работы оборудования ОАО «Силовые машины».

## Список использованных источников

1. «Внедрение 4.0». Развитие «индустрии 4.0». Основы, моделирование и примеры из практики. М.: Техносфера, 2017. 294 с.
2. <http://www.pantes.ru>.
3. ГОСТ Р ИСО 9000:2015. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартиформ, 2015. 87 с.
4. ГОСТ Р ИСО 9001:2015. Основные положения и словарь. М.: Стандартиформ, 2015. 92 с.
5. А. Г. Варжапетян, Г. И. Коршунов. Обеспечение качества технических средств автоматизации. Ленинград: Машиностроение, ЛО, 1981. 192 с.
6. Б. В. Гнеденко, В. К. Беляев, А. Д. Соколов. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.
7. В. Феллер. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Ч. 2. М.: Мир, 1967. 477 с.
8. Г. И. Коршунов, А. А. Петрушевская, А. Е. Чуписов. Совершенствование технологических процессов при производстве и испытаниях инновационной электроники // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 10. С. 15-18.
9. Р. И. Сольнищев, Г. И. Коршунов. Пат. 2511776RU, F01N3/28, B01D53/94. Каталитический нейтрализатор вредных выбросов автомобиля в атмосферу // ФИПС. 2012. Бюл. № 10.
10. Г. И. Коршунов, Р. И. Сольнищев. Математическое и методическое обеспечение экосистемы инноваций в проблеме нейтрализации отработавших газов автомобиля // Инновации. 2015. № 11. С. 125-128.
11. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. 177 Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. М.: Изд-во стандартов, 2001. 23 с.
12. ГОСТ Р ИСО 31000-2009. Менеджмент рисков. Принципы и руководящие указания. М.: Изд-во стандартов, 2009. 23 с.

### Improving the efficiency of production of electronics for innovative automotive systems on the principles of «industry 4.0»

**G. I. Korshunov**, doctor of technical sciences, professor/general director.

**A. A. Petrushevskaya**, assistant/engineer.  
(St. Petersburg state university of aerospace instrumentation/LTD «Pantes group»)

In article use the principles of the concept the «industry 4.0» for the purpose of increase in effectiveness of production of products of electronics is considered. Technological processes can be described in the form of mathematical models based on Markov chains.. When developing mathematical model it is necessary to make operating specification of technological process. For the solution of this task in article the theory of counts is used.

**Keywords:** electronics industry, technological process, life cycle, mathematical model, smart manufacturing, «industry 4.0».