

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-4-116-128>

## Разработка алгоритма прогнозирования и предотвращения нештатных ситуаций в системах контроля движения промышленной продукции на основе анализа данных мультикодовой маркировки

А.В. Астафьев<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, ул. Орловская, 23, г. Муром, 602264, Российская Федерация

✉ e-mail: Alexahndr.Astafiev@mail.ru

### Резюме

**Цель исследования.** Настоящая работа посвящена разработке алгоритма прогнозирования и предотвращения нештатных ситуаций в системах контроля движения промышленной продукции на основе анализа данных мультикодовой маркировки.

**Методы.** В настоящее время для идентификации промышленной продукции в основном используется маркировка изделий с помощью штрих-кода или радиочастотных меток. Существует огромное количество методов и алгоритмов их обнаружения, распознавания и идентификации, однако все они носят индивидуальный характер. В частности, идентифицируют изделие по одной метке, которых на нем может быть множество. Наличие большого количества меток на изделии объясняется тем, что каждый этап жизненного цикла предполагает собственные механизмы маркировки и идентификации. Так, на производстве изделие маркируется соответствующей меткой, при транспортировке оно может получить еще одну метку, связанную с программным обеспечением транспортной кампании, при реализации товаров изделие может получить еще несколько меток системы идентификации продавца и т.д. В другом случае мультикодовую маркировку (множество различных меток на одном изделии) можно использовать для повышения достоверности результатов систем идентификации и оперативности транспортировки путем отказа от операции поворота изделия маркировкой к считывателю.

**Результаты.** В работе предлагается организовать связь между различными маркировками одного и того же изделия с использованием методов контроля целостности и комбинаторики. Развитием этого подхода является использование методов имитационного моделирования для разработки подходов к прогнозированию и предотвращению нештатных ситуаций в ходе перемещения продукции. Проведены экспериментальные исследования для определения вероятности идентификации штрих-кода на изделии для определения минимального количества меток типа штрих-код для маркировки металлических труб (ОАО «Выксунский металлургический завод»).

**Заключение.** В статье проведен обзор и сравнительный анализ систем аналогов. Приведено описание алгоритма прогнозирования и предотвращения нештатных ситуаций в ходе перемещения продукции на основе имитационной модели процесса транспортировки изделий по территории ТЭСЦ-3 ОАО «Выксунский металлургический завод». Результаты имитационного моделирования показали эффективное использование предложенных методов для дальнейшей реализации и внедрения на предприятие.

**Ключевые слова:** мультикодовая маркировка; система контроля движения продукции; нештатная ситуация.

**Конфликт интересов:** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Астафьев А.В. Разработка алгоритма прогнозирования и предотвращения нештатных ситуаций в системах контроля движения промышленной продукции на основе анализа данных мультикодовой маркировки // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(4): 116-128. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-4-116-128>.

Статья поступила в редакцию 07.06.2019

Статья подписана в печать 23.07.2019

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-4-116-128>

## Development of Algorithm for Abnormal Situations' Prediction and Prevention in Industrial Product Movement Control Systems Based on Multicode Marking Data Analysis

Aleksandr V. Astafiev <sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Murom Institute (branch) of Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolay Grigoryevich Stoletov, 23, Orlovskaya str., Murom, 602264, Russian Federation

✉ e-mail: Alexaxndr.Astafiev@mail.ru

### Abstract

**Purpose of research.** The work is devoted to the development of algorithm for abnormal situations' prediction and prevention in industrial product movement control systems based on multicode marking data analysis.

**Methods:** Nowadays product labeling using bar code or radio frequency tags is mainly used to identify products. There are a lot of methods and algorithms for their detection, recognition and identification. But they are individual. Specifically, the product is identified by a certain label. The presence of a large number of labels on the product is due to the fact that each stage of the life cycle involves its own marking and identification mechanisms. Thus, at manufacturing site, the product is marked with a label, during transportation it can obtain another label related to the transport campaign software, during sales the product can have several more labels of the seller identification system, etc. Otherwise, multicode marking (different marks on one product) can be used to improve the reliability of identification system results and the speed of transportation by not turning the product to a label reader.

**Results.** This paper describes how to organize connection between different markings of the same product using methods of integrity control and combinatorics. The development of this approach is the use of simulation techniques to develop approaches for predicting and preventing of emergency situations during product movements. Experimental studies were carried out to determine the probability of identifying a bar code on the product to determine the minimum number of marks like bar code for marking metal pipes (OJSC "Vyksun Metallurgical Plant").

**Conclusion.** The article has a review and comparative analysis of analog systems. The algorithm of abnormal situations' prediction and prevention during product movement is described. The description is done on the basis of simulation model of product transportation process in the territory of CHPP-3 of OJSC "Vyksun Metallurgical Plant". Simulation results showed efficient use of proposed methods for further implementation at enterprises.

**Key words:** multicode marking; system of product movement control; abnormal situation.

**Conflict of interest.** The Author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Astafiev A.V. Development of Algorithm for Abnormal Situations' Prediction and Prevention in Industrial Product Movement Control Systems Based on Multicode Marking Data Analysis. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(4): 116-128 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-4-116-128>.

Received 07.06.2019

Accepted 23.07.2019

\*\*\*

## Введение

В настоящее время для идентификации промышленной продукции в основном используется маркировка изделий с помощью штрих-кода [1-3] или радиочастотных меток [4-11]. Данные решения действительно позволяют сократить время поиска того или иного изделия на территории предприятия, однако и они не лишены недостатков, так как методы идентификации, заложенные в основе подобного рода систем, не способны прогнозировать возможные нештатные ситуации [12].

Например, при перемещении груза метка не всегда находится в поле зрения сенсора, вследствие чего маркировка не видна считывающему устройству или человеку. Хотя стоит отметить, что в целях безопасности человек на таких работах практически не участвует. Также маркировка, в ходе транспортировки или передвижения по конвейерной ленте, может быть плохо закреплена, в результате она может открепиться или попасть на другое изделие. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что для достоверной идентификации продукции следует использовать несколько маркировок на одном изделии, количество которых может зависеть от гео-

метрических параметров объекта. Такой подход будем называть мультикодовой маркировкой. Для точного контроля местоположения изделий следует применять алгоритм поиска ошибок при возникновении нештатных ситуаций (например: когда на нескольких участках идентифицируется одна метка из нескольких возможных), что позволит оперативно принять решение оператору и устранить нарушение.

Цель данной работы – разработка алгоритма прогнозирования и предотвращения нештатных ситуаций в системах контроля движения промышленной продукции на основе анализа данных мультикодовой маркировки. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- провести сравнительный анализ систем аналогов;
- разработать имитационную модель процесса перемещения продукции;
- сформулировать нештатные ситуации;
- разработать алгоритм прогнозирования и предотвращения нештатных ситуаций;
- провести экспериментальное исследование с использованием средств имитационного моделирования.

## Материалы и методы

### Обзор аналогов

В настоящее время для осуществления организации контроля движения существуют большое количество программно-аппаратных решений. Проведем сравнительный анализ нескольких основных аналогов для выявления их достоинств и недостатков:

1. VITRONIC – система автоматического распознавания применяется для считывания штрих-кодов в различных отраслях промышленности. Результаты анализа данной системы приведены в табл. 1.

2. OptiCode – промышленный сканер для высокоскоростного считывания штрих-кодов. Достоинства и недостатки представлены в табл. 2.

Таблица 1

Достоинства и недостатки использования VITRONIC

Table 1

Advantages and disadvantages of using VITRONIC

VITRONIC	
Достоинства использования	Недостатки использования
Распознавание различных типов кодов (1D, 2D)	Требуется реализация алгоритма контроля нештатных ситуаций
Чтение OCR (серийные номера, номера партий, изделий и т.п.)	
Мультикодовое считывание	

Таблица 2

Достоинства и недостатки использования OptiCode

Table 2

Advantages and disadvantages of using OptiCode

OptiCode	
Достоинства использования	Недостатки использования
Отслеживание изделия от момента приема до склада	Требуется реализация алгоритма контроля нештатных ситуаций
Сканирование штрих-кодов с большого расстояния (15м)	
Позволяет располагать камеру на кранах или тележках	Нет поддержки мультикодового считывания

В результате сравнительного анализа представленных аналогов можно сделать вывод о том, что данные решения не совсем подходят для использования, так как в основном у них отсут-

ствует алгоритм прогнозирования и предотвращения нештатных ситуаций. В некоторых случаях нет поддержки мультикодового считывания, вследствие чего на доработку потребуется значительное

количество средств, что является нерентабельным.

#### Разработка имитационной модели перемещения промышленной продукции

Разработка алгоритмов построения систем контроля движения направлена на автоматизацию технологических процессов промышленных предприятий. Исходя из этого была разработана имитационная модель, основанная на процессе транспортировки продукции по территории ТЭСЦ-3 ОАО «Выксунский металлургический завод».

В ходе работы было сформулировано задание для построения имитационной модели. На предприятие каждые  $100 \pm 20$  с поступают заявки на прием промышленной продукции. Далее изделия перемещаются в стеллажи для хранения. Обработка таких заявок занимает  $180 \pm 20$  с. После изделие может пе-

реместиться в соседние стеллажи или место отгрузки. Обработка занимает  $150 \pm 20$  с и  $160 \pm 40$  с соответственно. Если в пункте приема количество заявок превышает пороговое значение или оставшиеся заявки не успели обработать в течение заданного промежутка времени, то они автоматически отправляются на резервный склад. Необходимо смоделировать работу перемещения промышленных изделий за время одной рабочей смены. Схема данной имитационной модели показана на рис. 1.

В ходе анализа процесса транспортировки изделий по территории ТЭСЦ-3 ОАО «Выксунский металлургический завод» и имитационной модели были выявлены следующие нештатные ситуации:

1. Нештатная ситуация 1 – в процессе перемещения изделия считывается одна и та же маркировка.

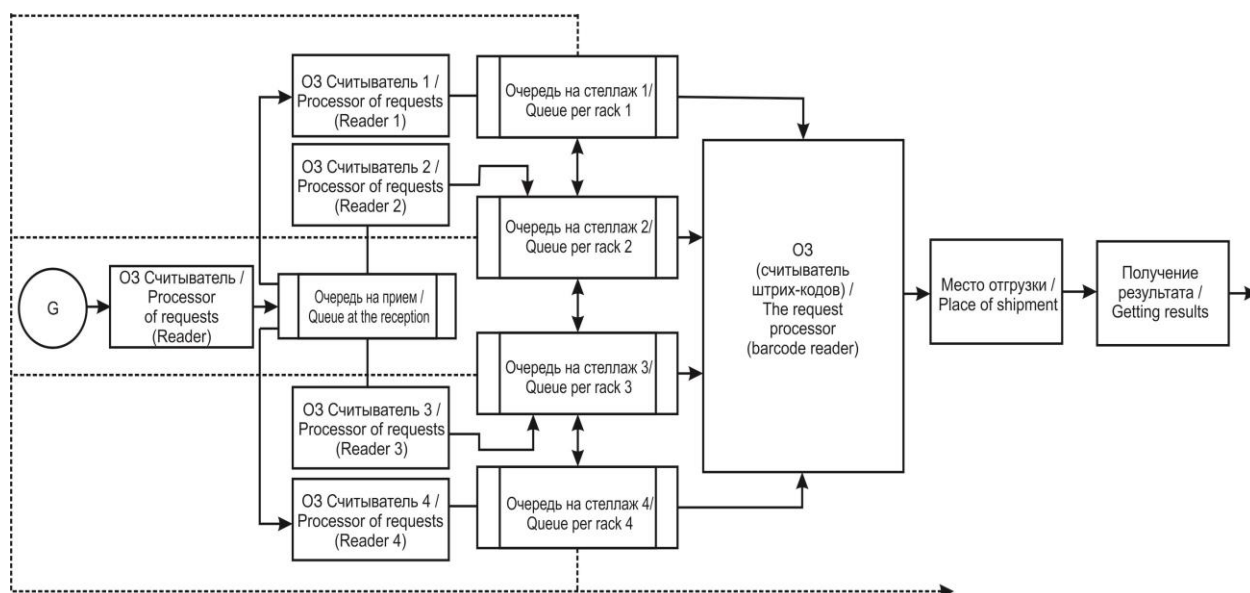


Рис. 1. Схема модели процесса транспортировки изделий

Fig. 1. Model of the product transportation process

2. Нештатная ситуация 2 – в процессе идентификации в поле зрения считывающего устройства попала несуществующая маркировка.

3. Нештатная ситуация 3 – в процессе перемещения на изделие попала маркировка другого объекта, путем механического воздействия (маркировка отклеилась) или умышленного действия персонала (преднамеренная переклейка маркировки).

Разработка алгоритма прогнозирования и предотвращения нештатных ситуаций в ходе перемещения продукции

Для того, чтобы предотвратить или своевременно получить информацию о заявленных нештатных ситуациях предлагается использовать следующий алгоритм:

1. При поступлении изделий на место приема фиксируем идентифицированные маркировки изделия, время поступления, и его местонахождение.

2. При перемещении фиксируется время, текущее местонахождение и местоположение стеллажа, на который поступает изделие.

3. Поступление на стеллаж происходит так же, как и в пункте 1 со сравнением маркировок.

4. Перемещение между стеллажами и при поступлении на место отгрузки происходит в соответствии с пунктами 1-3.

5. Если в процессе перемещения изделия из мест хранения в поле зрения считывающего устройства попадает одинаковая маркировка, система генерирует предупреждение для ее проверки, что соответствует нештатной ситуации 1.

6. Если в поле зрения считывающего устройства попала несуществующая маркировка или она с другого изделия, генерируем предупреждение, что соответствует нештатным ситуациям 2, 3.

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2.

## Результаты и их обсуждение

### Описание эксперимента

Перед реализацией алгоритма и модели был проведен эксперимент для сбора всех необходимых входных данных.

Эксперимент состоял в следующем:

1. Был взят предмет цилиндрической формы, на него были нанесены 4 штрих-кода. Предметов может быть несколько, так как на реальном производстве при перемещении продукции краном или конвейерной лентой в поле считывающего сенсора одновременно попадают несколько изделий.

2. С помощью любого технического устройства, позволяющего захватить изображение (например: камера мобильного телефона или фотоаппарат), было получено несколько снимков, на которых были запечатлены изделия в разных положениях (имеется в виду разное позиционирование).

3. На основе собранных изображений была собрана статистика считанных штрих-кодов.

4. В результате собранной информации была рассчитана вероятность идентификации маркировок, что в дальнейшем позволило провести моделирование.

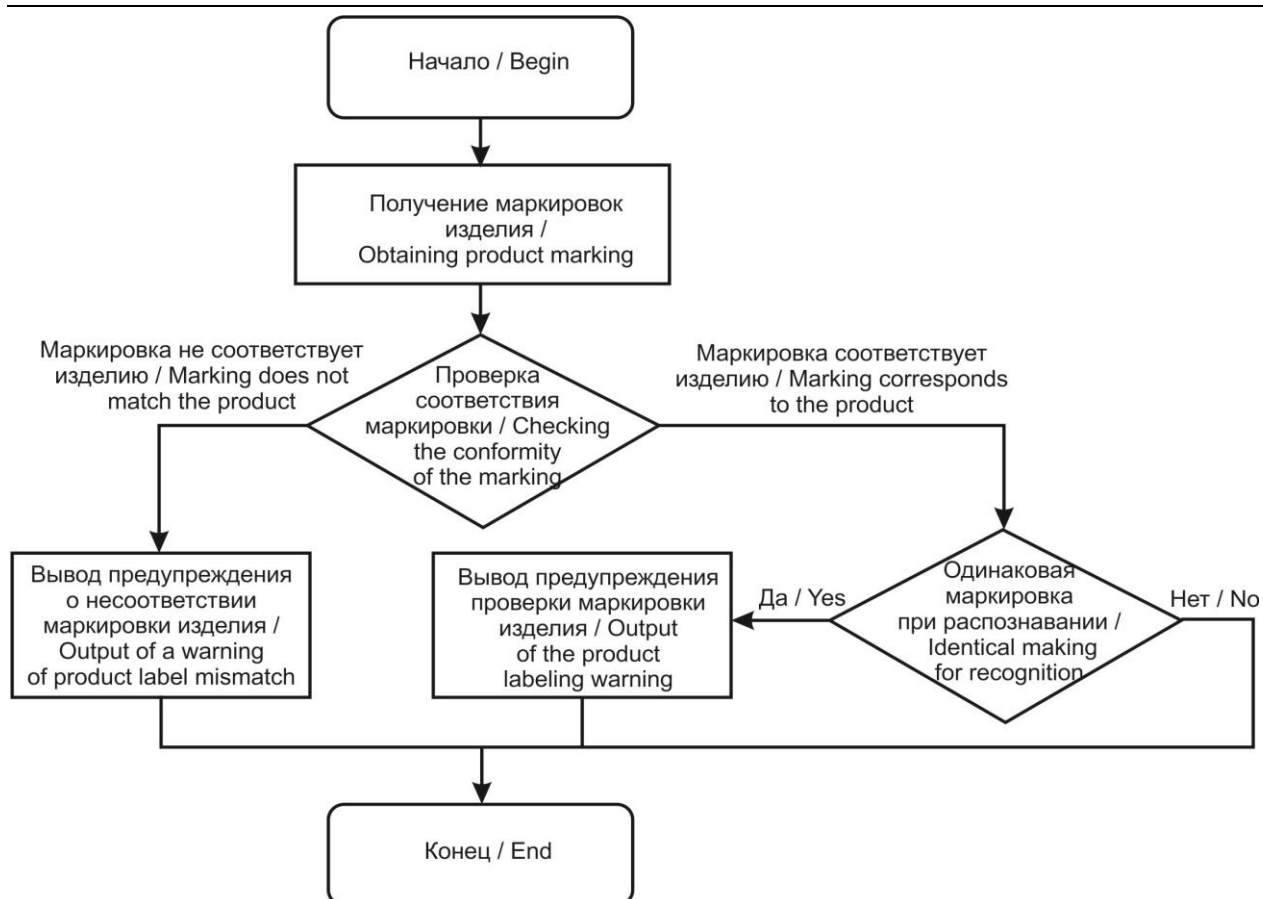


Рис. 2. Блок-схема разрабатываемого алгоритма

Fig. 2. Block diagram of the algorithm being developed

### Анализ изображений

В ходе эксперимента, было взято 3 цилиндрических предмета, на каждом из которых было прикреплено 4 штрих-кода. Для мультикодовой маркировки был использован штрих-код типа Code-11, представленный на рис. 3:



Рис. 3. Пример штрих-кода, используемый для маркировки изделий

Fig. 3. Example barcode used for marking products

Для того чтобы получить более точный результат, необходимо сфотографировать как можно больше различных случаев. Результат представлен на рис. 4.

Как видно из рис. 4, при различном позиционировании объекта в большинстве случаев идентифицируются 1 или 2 штрих-кода. Стоит отметить, что на некоторых изображениях было распознано и 3 метки на одном изделии, однако такой результат возникает крайне редко и им можно пренебречь, так как метка практически не видна. По полученным изображениям была произведена выборка, результаты которой сведены в табл. 3.



По информации, представленной в табл. 3, можно узнать числовые данные о распознавании только 1 штрих-кода, 2 и более.



Рис. 4. Пример изображений, полученных в ходе съемки

Fig. 4. Example of experimental images

Таблица 3

Общее количество идентифицированных тегов

Table 3

Total number of tags identified

№ изобра- жения	Количество идентифицированных штрих-кодов												Нераспо- знанные штрих- коды
	Труба 1				Труба 2				Труба 3				
	№ штрих-кода на трубе				№ штрих-кода на трубе				№ штрих-кода на трубе				
	00000001	00000002	00000003	00000004	00000005	00000006	00000007	00000008	00000009	00000010	00000011	00000012	
1				1			1	1			1		1
2	1				1			1			1		0
3	1			1			1	1			1	1	0
4				1			1					1	2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1597			1				1	1			1		1
1598			1				1				1	1	1
1599	1			1				1	1				2
1600		1					1				1		1
Всего рас- познано	680	240	280	720	80	80	760	760	720	280	400	320	1840
Итого	1920				1680				1720				1840



Таблица 4

Количество считанных меток на каждом объекте

Table 4

The number of tags read on each object

Вариант	Кол-во считанных меток (раз)		
	Труба 1	Труба 2	Труба 3
1 штрих-код распознан	920	960	1020
2 штрих-кода распознано	680	640	580
3 и более штрих-кодов распознано	0	0	0

В результате, из представленных таблиц можно вычислить вероятность идентификации штрих-кода на изделии:

1. Вероятность распознавания 1 штрих-кода: 66,67%.
2. Вероятность распознавания 2 штрих-кодов: 33,33%.

Результаты работы имитационной модели

Исходя из схемы разработанной имитационной модели, представленной

на рис. 1, видно, что каждое перемещение объекта контролируется путем считывания маркировок с помощью обработчика заявок (ОЗ) от места приема изделия до его отгрузки. В этом обработчике происходит сравнение маркировок и дальнейшее принятие решения по выводу сообщений в случае возникновения нештатной ситуации в ходе транспортировки (рис. 5, 6).

The process of moving:		
10:00:57	Product ID: 6 Moved to the rack 4	Recognized: 9880750,9880748
10:00:57	Product ID: 2 Moved to the place of shipment	Recognized: 1922516,1922517
10:00:58	Product ID: 11 Moved to the rack 3	Recognized: 9441368,9441369
10:00:58	Product ID: 6 Moved to the place of shipment	Recognized: 9880749
10:00:59	Product ID: 21 Moved to the rack 1	Recognized: 2055596
10:01:00	Product ID: 11 Moved to the place of shipment	Recognized: 9441368,9441369
10:01:00	Product ID: 22 Moved to the rack 4	Recognized: 9860738
10:01:00	Product ID: 30 Moved to the rack 4	Recognized: 9429826,9429825
10:01:01	Product ID: 35 Moved to the rack 4	Recognized: 6378369
10:01:02	Product ID: 21 Moved to the place of shipment	Recognized: 2055596
10:01:05	Product ID: 64 Moved to the rack 1	Recognized: 7303325,7303324
10:01:06	Product ID: 46 Moved to the rack 1	Recognized: 1054826
10:01:06	Product ID: 35 Moved to the place of shipment	Recognized: 6378372
10:01:06	Product ID: 30 Moved to the place of shipment	Recognized: 9429824
10:01:07	Product ID: 45 Moved to the rack 4	Recognized: 6363338,6363335
10:01:08	Product ID: 60 Moved to the rack 1	Recognized: 9979266
10:01:09	Product ID: 20 Moved to the rack 2	Recognized: 7325444,7325445

Рис. 5. Вывод отчета процесса перемещения

Fig. 5. Report Displacement Process

```
Displaying system messages:
10:00:57 | Product ID: 4 | Check is not required
10:00:57 | Product ID: 5 | Check marking
10:00:57 | Product ID: 2 | Check is not required
10:00:58 | Product ID: 6 | Check is not required
10:01:00 | Product ID: 11 | Check is not required
10:01:02 | Product ID: 21 | Check marking
10:01:06 | Product ID: 35 | Check is not required
10:01:06 | Product ID: 30 | Check is not required
10:01:10 | Product ID: 45 | Check is not required
```

Рис. 6. Вывод системных сообщений в ходе перемещения

Fig. 6. Display system messages

На представленных рисунках видна работа алгоритма прогнозирования и предотвращения нештатных ситуаций. Например, если взять изделие под номером 4, то в процессе его перемещения можно заметить то, что по прибытию в стеллаж 1 считыватель идентифицировал только одну маркировку (номер штрих-кода: 5852835). После поступления изделия на место отгрузки наблюдается точно такая же маркировка, в результате чего происходит генерация сообщения и уведомление о возможном нарушении в маркировке изделия с целью его проверки. Пример общего отчета результата моделирования показан на рис. 7.

## Выводы

На основе выполненной работы можно сделать вывод о том, что при использовании нескольких меток для идентификации продукции повышается

вероятность распознавания, так как не зависимо от позиционирования в любом случае 1 метка будет видна считывающему устройству.

```
Simulation results:
Total number of objects: 100
Recognized objects: 15
1 barcode is recognized: 6
Recognized 2 barcodes: 9
Conformity markings: 7
Inconsistency of markings: 2
```

Рис. 7. Пример общего отчета о результатах моделирования

Fig. 7. Example of a general report on simulation results

Исходя из полученных входных данных, была разработана имитационная модель перемещения продукции с использованием алгоритма прогнозирования и предотвращения внештатных

ситуаций. Результаты имитационного моделирования показали эффективное использование предложенных методов для дальнейшей реализации и внедрения на предприятие.

### Список литературы

1. Орлов А.А., Астафьев А.В., Привезенцев Д.Г. Разработка алгоритма определения перемещений изделий между стеллажами на основе данных с их меток // Телекоммуникации. 2019. № 1. С.7-15.
2. Разработка методики комплексирования алгоритмов определения текущей зоны складирования на основе методов технического зрения и радиочастотной идентификации / А.В. Астафьев, А.А. Орлов, Д.П. Попов, М.В. Пшеничкин // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание – 2017: сборник материалов научно-техн. конф. Курск, 2017. С. 56-59.
3. Astafiev A.V., Orlov A.A., Shardin T.O. Development of an algorithm for forecasting and preventing emergency situations in industrial traffic control systems based on data analysis of multi-code identifiers // 4th International Conference on Information Technology and Nanotechnology - Session: Data Science, DS-ITNT 2018; Samara; Russian Federation; 24-27 April 2018.
4. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б. А. Алпатов, П. В. Бабаян, О. Е. Балашов, А. И. Степашкин. М.: Радиотехника, 2008. 176 с.
5. Комбинированный алгоритм детектирования автомобильных регистрационных знаков / И.Н. Трапезников, А.Л. Приоров, А.А. Носков, Е.А. Аминова // Электромагнитные волны и электронные системы. 2013. Т. 18, № 12. С. 032-037.
6. Warehouse management with lean and RFID application: a case study / James C. Chen, Chen-Huan Cheng, PoTsang B. Huang, Kung-Jen Wang, Chien-Jung Huang, Ti-Chen Ting // Int J Adv Manuf Technol, 2013, 69:531–542. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5016-8>.
7. Kumar V. V., Chan F.T.S. A superiority search and optimisation algorithm to solve RFID and an environmental factor embedded closed loop logistics model // Int J Prod Res, 2010, 49(16):4807–4831. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.503201>.
8. Soo-Cheol Kim, Young-Sik Jeong, Sang-Oh Park An indoor location tracking based on mobile RFID for smart exhibition service // J Comput Virol Hack Tech, 2014, 10:89–96. <https://doi.org/10.1007/s11416-014-0200-4>.

9. Soo-Cheol Kim, Young-Sik Jeong, Sang-Oh Park RFID-based indoor location tracking to ensure the safety of the elderly in smart home environments // *Pers Ubiquit Comput*, 2013, 17:1699–1707. <https://doi.org/10.1007/s00779-012-0604-4>.
10. Kwangsoo Kim, Myungsik Kim, Ke-Sheng Wang Intelligent and integrated RFID (II-RFID) system for improving traceability in manufacturing // *Advances in Manufacturing*. June 2014. Vol. 2, is. 2. P. 106–120.
11. Kwangsoo Kim RFID-based location-sensing system for safety management // *Pers Ubiquit Comput*, 2012, 16:235–243. <https://doi.org/10.1007/s00779-011-0394-0>.
12. Бобырь М.В., Емельянов С.Г., Титов В. С. Автоматизированные нечетко-логические системы управления. М.: ИНФРА-М, 2016. С. 176.

### References

1. Orlov A.A., Astafiev A.V., Privezentsev D.G. Razrabotka algoritma opredeleniya peremeshchenii izdelii mezhdru stellazhami na osnove dannykh s ikh metok [Development of an algorithm for determining the movement of products between racks based on data from their labels]. *Telekommunikatsii = Telecommunications*, 2019, no. 1, pp. 7-15 (In Russ.).
2. Astafiev A.V., Orlov A.A., Popov D.P., Pshenichkin M.V. [Development of a methodology for combining algorithms for determining the current storage zone based on the methods of technical vision and radio frequency identification]. *Optiko-elektronnye pribory i ustroystva v sistemakh raspoznavaniya obrazov, obrabotki izobrazhenii i simvol'noi informatsii. Raspoznavanie – 2017. Sbornik mater.* [Optoelectronic devices and devices in pattern recognition systems, image processing and symbolic information. Recognition - 2017]. Kursk, 2017, pp. 56-59 (In Russ.).
3. Astafiev A.V., Orlov A.A., Shardin T.O. Development of an algorithm for forecasting and preventing emergency situations in industrial traffic control systems based on data analysis of multi-code identifiers. *4th International Conference on Information Technology and Nanotechnology - Session: Data Science, DS-ITNT 2018*. Samara; Russian Federation; April 24-27, 2018.
4. Alpatov B. A., Babayan P. V., Balashov O. E., Stepashkin A. I. Metody avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob"ektov. Obrabotka izobrazhenii i upravlenie [Methods of automatic detection and tracking of objects. Image Processing and Control]. Moscow, *Radiotekhnika Publ.*, 2008, 176 p. (In Russ.).
5. Trapeznikov I.N., Priorov A.L., Noskov A.A., Aminova E.A. Kombinirovannyi algoritm detektirovaniya avtomobil'nykh registratsionnykh znakov [Combined algorithm for detecting car registration marks]. *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy = Electromagnetic waves and electronic systems*, 2013, vol. 18, no. 12, pp. 032-037 (In Russ.).

6. James C. Chen, Chen-Huan Cheng, PoTsang B. Huang, Kung-Jen Wang, Chien-Jung Huang, Ti-Chen Ting. Warehouse management with lean and RFID application: a case study, 2013, 69:531–542. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5016-8>.
7. Kumar V. V., Chan F.T.S. A superiority search and optimisation algorithm to solve RFID and an environmental factor embedded closed loop logistics model. *Int J Prod Res*, 2010, 49(16):4807–4831. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.503201>.
8. Soo-Cheol Kim, Young-Sik Jeong, Sang-Oh Park An indoor location tracking based on mobile RFID for smart exhibition service. *J Comput Virol Hack Tech*, 2014, 10:89–96 <https://doi.org/10.1007/s11416-014-0200-4>.
9. Soo-Cheol Kim, Young-Sik Jeong, Sang-Oh Park RFID-based indoor location tracking to ensure the safety of the elderly in smart home environments. *Pers Ubiquit Comput*, 2013, 17:1699–1707. <https://doi.org/10.1007/s00779-012-0604-4>.
10. Kwangsoo Kim, Myungsik Kim. Ke-Sheng Wang Intelligent and integrated RFID (II-RFID) system for improving traceability in manufacturing. *Advances in Manufacturing June 2014, vol. 2, is. 2, pp. 106–120*.
11. Kwangsoo Kim. RFID-based location-sensing system for safety management. *Pers Ubiquit Comput*, 2012, 16:235–243. <https://doi.org/10.1007/s00779-011-0394-0>.
12. Bobyr M., Yemyelyanov S., Titov V. Avtomatizirovannye nechetko-logicheskie sistemy upravleniya [The automated indistinct and logical control systems]. Moscow, INFRA-M Publ., 2016, p. 176 (In Russ.).

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Астафьев Александр Владимирович**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры физики и прикладной  
математики, Муромский институт (филиал)  
Владимирского государственного университета  
имени А. Г. и Н. Г. Столетовых,  
г. Муром, Российская Федерация,  
e-mail: Alexaxndr.Astafiev@mail.ru

**Aleksandr V. Astafiev**, Candidate of Engineering  
Sciences, Associate Professor, Physics  
and Applied Mathematics Department, Murom  
Institute (branch) of Vladimir State University  
named after A. G. and N. G. Stoletov,  
Murom, Russian Federation,  
e-mail: Alexaxndr.Astafiev@mail.ru