

Анна С. Колосова<sup>1</sup>, Анна С. Каменева<sup>2</sup>, Георгий В. Чуков<sup>3</sup>,  
Александр Ю. Никифоров<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Акционерное общество «Экспериментальное научно-производственное объединение  
Специализированные электронные системы»,  
Каширское ш., 31, Москва, 115409, Россия

<sup>1,2,3,4</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Каширское ш., 31, Москва, 115409, Россия

<sup>1</sup>e-mail: askol@spels.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6597-7985>

<sup>2</sup>e-mail: aspih@spels.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0735-937X>

<sup>3</sup>e-mail: gvchuk@spels.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0501-3498>

<sup>4</sup>e-mail: aynikiforov1@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2427-663X>

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЭКБ И РЭА

DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2023.1.09>

*Аннотация.* Рассмотрены основные алгоритмы и методы машинного обучения и проведен анализ возможности их применения для оценки качества как основного элемента обеспечения доверенности выпускаемой электронной компонентной базы (ЭКБ) и радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Приводятся примеры успешного применения данных алгоритмов для улучшения таких показателей качества ЭКБ как надежность, стойкость к внешним воздействующим факторам и др. При проведении исследований стойкости ЭКБ к внешним воздействующим факторам, необходимой является процедура идентификации образцов ЭКБ методом рентгеноскопии, для выявления возможной неоднородности в конструкции образцов, принадлежащих к одной партии. Неоднородность партии может влиять на показатели надежности и стойкости к внешним воздействующим факторам, в связи с чем актуальной задачей является построение надежной системы идентификации. В статье предложен подход к решению задачи поиска неоднородности партии при идентификации образцов ЭКБ с помощью рентгеноскопии, в том числе как метода обеспечения доверенности, с помощью сверточной нейронной сети и алгоритмов кластеризации.

*Ключевые слова:* РЭА, машинное обучение, показатели качества ЭКБ, идентификация.

*Для цитирования:* КОЛОСОВА, Анна С. и др. ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЭКБ И РЭА. Безопасность информационных технологий, [S.l.], т. 30, № 1, с. 123–129, 2023. ISSN 2074-7136. URL: <https://bit.spels.ru/index.php/bit/article/view/1487>. DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2023.1.09>.

Anna S. Kolosova<sup>1</sup>, Anna S. Kameneva<sup>2</sup>, Georgii G. Chukov<sup>3</sup>, Alexander Y. Nikiforov<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Joint Stock Company “SPELS”,

Kashirskoe shosse, 31, Moscow, 115409, Russia

<sup>1,2,3,4</sup>National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute),  
Kashirskoe shosse, 31, Moscow, 115409, Russia

<sup>1</sup>e-mail: askol@spels.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6597-7985>

<sup>2</sup>e-mail: aspih@spels.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0735-937X>

<sup>3</sup>e-mail: gvchuk@spels.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0501-3498>

<sup>4</sup>e-mail: aynikiforov1@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2427-663X>

## **Assessment of the possibility of machine learning for electronic equipment quality prediction**

DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2023.1.09>

*Abstract.* The major algorithms and methods of machine learning are considered. A possibility of machine learning and neural network using for electronic equipment quality prediction is assessed. The paper

provides examples of the successful application of these algorithms to improve such quality of electronic components indicators as reliability, resistance to external influencing factors, etc. Before testing electronic components on resistance to external influencing factors it is necessary to identify samples of electronic components by fluoroscopy in order to identify possible heterogeneity in the structure of samples belonging to the same batch. A solution of the electronic components batches uniformity problem using computer vision and clustering algorithms is proposed.

*Keywords:* *electronic equipment, machine learning, quality of electronic components, identification.*

*For citation:* KOLOSOVA, Anna S. et al. Assessment of the possibility of machine learning for electronic equipment quality prediction. *IT Security (Russia)*, [S.l.], v. 30, no. 1, p. 123–129, 2023. ISSN 2074-7136. URL: <https://bit.spels.ru/index.php/bit/article/view/1487>. DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2023.1.09>.

## Введение

Появление новых удобных библиотек и оболочек для применения нейросетей и алгоритмов машинного обучения (МО), таких как Keras, TensorFlow, Scikit-learn, CatBoost, XGBoost, привело к их популярности в различных областях науки, техники и производства. Алгоритмы МО успешно применяются в сталелитейной, горнодобывающей и др. областях промышленности, однако при производстве ЭКБ и РЭА существует еще много перспективных направлений для применения данных алгоритмов, одним из которых является анализ и прогнозирование качества как основного условия обеспечения доверенности ЭКБ и РЭА.

Целью статьи является анализ типовых задач, выбор алгоритмов МО для решения данных задач и оценка возможности их применения для анализа и прогнозирования качества ЭКБ как основного условия доверенности.

### 1. Задачи машинного обучения

Задача машинного обучения — это составление прогноза или вывода, основанного на доступных данных.

К основным классам задач, решаемых с помощью алгоритмов МО, относятся:

1. Кластеризация (или сегментация) – сортировка объектов в наборе данных на подгруппы по принципу схожести. Например, разделение клиентов компании по уровню лояльности к реализованному продукту.

2. Обнаружение аномалий (или выбросов) – поиск и выявление объектов, которые не соответствуют типичным значениям. На практике такой задачей является, например, выявление аномальных параметров в функционировании технологического оборудования с целью предупредить отказ оборудования и остановку производства.

3. Поиск ассоциативных правил – метод анализа данных, который состоит в поиске групп элементов, часто встречающихся вместе. Примером, может служить генерация речи и изображений.

4. Прогнозирование [1] (включая задачи классификации и регрессии) – составление прогноза на основе выборки данных с ответом в виде числа (в случае задачи регрессии) или категории (в случае задачи классификации). Примером может служить прогнозирование процента выхода годных изделий.

Существует два основных способа решения задач с помощью машинного обучения: обучение с учителем (обучение по предварительно размеченному целевому признаку сета данных) и обучение без учителя (обучение по сету данных без предварительной разметки). Примером задач с обучением без учителя являются задачи кластеризации, а задача классификации и регрессии, как правило, решаются методами обучения с учителем.

## 2. Основные алгоритмы и методы машинного обучения

К основным алгоритмам и методам машинного обучения относятся:

1. Логистическая регрессия.
2. Линейная регрессия.
3. Алгоритмы на основе решающих деревьев.
4. Ансамблевые методы обучения (алгоритмы с применением градиентного спуска).
5. Алгоритм поиска ближайших соседей.
6. Алгоритм  $k$ -средних.
7. Метод опорных векторов.
8. Нейронные сети.

Первые работы по нейронным сетям появились еще в середине XX века [2], но проблемы с вычислительной мощностью существовавших в то время электронной вычислительной техники отложили триумф данного метода обучения вплоть до 2010 г., когда развитие алгоритмов (таких как алгоритм обратного распространения ошибки [3]) и появление современных графических процессоров, способных одновременно выполнять большое количество математических операций) принесло хоть и отложенный, но заслуженный прорыв в области применения нейросетей.

В настоящее время нейросети широко применяются в области анализа естественной информации (компьютерного зрения, распознавания речи и др.), нейроуправлении (для систем управления динамическими объектами), экономике и др.

Подробно останавливаться на структуре нейронных сетей и алгоритмов не будем, перейдем к показателям качества ЭКБ и анализу возможности применения вышеперечисленных алгоритмов и методов машинного обучения для прогнозирования качества ЭКБ как важного элемента доверенности.

## 3. Показатели качества ЭКБ

Согласно ГОСТ Р 58857-2020 выделяют следующие показатели качества ЭКБ: показатели назначения, надежности, энергопотребления, технологичности, стандартизации и унификации, патентно-правовые, габаритно-весовые, стойкости к внешним воздействующим факторам и экономические показатели.

Теоретически перспектива применения алгоритмов МО существует для улучшения всех вышеперечисленных показателей качества на разных этапах производства ЭКБ и РЭА. Примером практического применения алгоритмов и методов МО (случайный лес, сверточные нейронные сети и др.) при производстве ЭКБ является оптимизирование процесса литографии [4–6], что позволяет улучшить показатели технологичности. Также ведутся исследования для прогнозирования стойкости к внешним воздействующим факторам, например, прогнозирование возникновения эффектов Single-Event Transients (SET) с применением алгоритма  $k$  ближайших соседей [7]. При прогнозировании возникновения одиночного тиристорного эффекта при воздействии ионизирующего воздействия космического пространства в микроконтроллере SAM3X в [8] авторами были опробованы как алгоритмы классификации (метод опорных векторов, решающее дерево, случайный лес), так и алгоритмы кластеризации ( $k$  ближайших соседей, иерархическая кластеризация, динамическая кластеризация и др.). Применение машинного обучения также возможно для детектирования аномалий в поведении входящих в состав РЭА элементов от эффектов накопленной дозы задолго до отказа РЭА [9], данный подход можно применить не только для улучшения показателей стойкости к внешним воздействующим факторам, но и показателей надежности.

Из приведенных выше примеров, очевидно, что применение алгоритмов и методов МО не только возможно, но и реализовано для некоторых показателей качества, при этом существует еще обширный круг задач, которыми только предстоит заняться научному сообществу. Например, перспективным направлением является применение методов машинного обучения для автоматизированного построения SPICE-моделей [10].

#### 4. Задача прогнозирования однородности партии ЭКБ при идентификации изделий методом рентгеноскопии

Коллективом авторов предлагается пример применения методов машинного обучения для прогнозирования однородности партии ЭКБ при идентификации изделий методом рентгеноскопии [11, 12]. Неоднородность партии образцов зачастую влияет на показатели стойкости к внешним воздействующим факторам и обязательно должна выявляться при входном контроле образцов [13–15]. Кроме этого, идентификация методом рентгеноскопии помогает выявить продукцию с признаками фальсификата или контрафакта, что является актуальной задачей для обеспечения доверенности ЭКБ.

На рис. 1–3 представлены примеры неоднородности в партиях образцов, прошедших идентификацию.

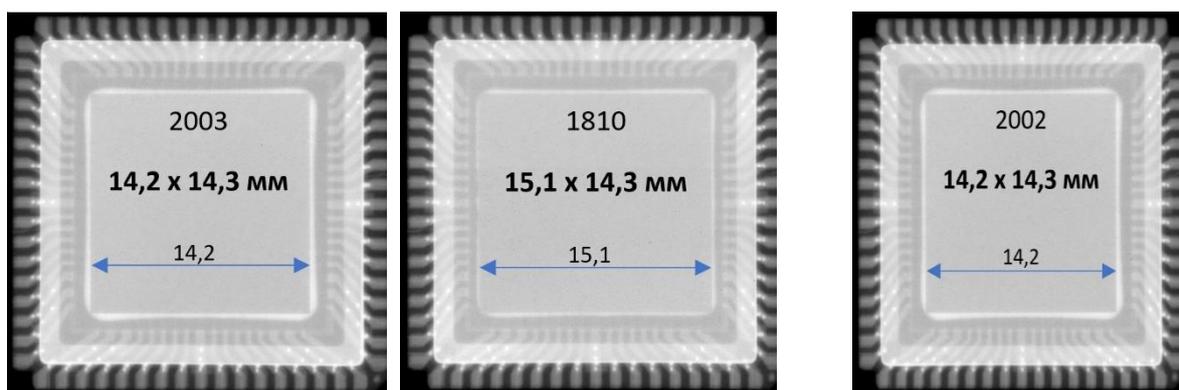


Рис. 1. Рентгеновские фотографии однотипных ОЗУ разных дат производства с отличием в размере кристалла, подтвержденным при последующей декапсуляции

Fig. 1. X-ray images illustrating the difference in the crystal's size of the same type RAMs with different date codes, confirmed by decapsulation

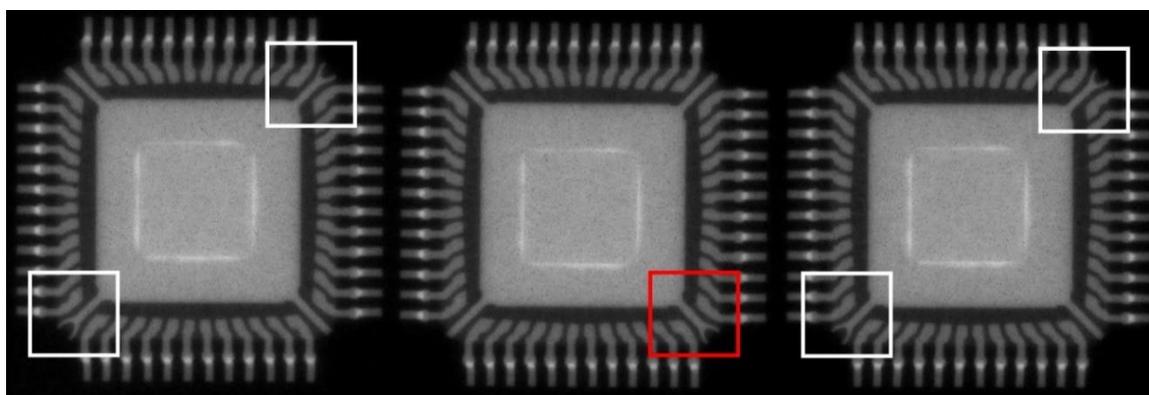
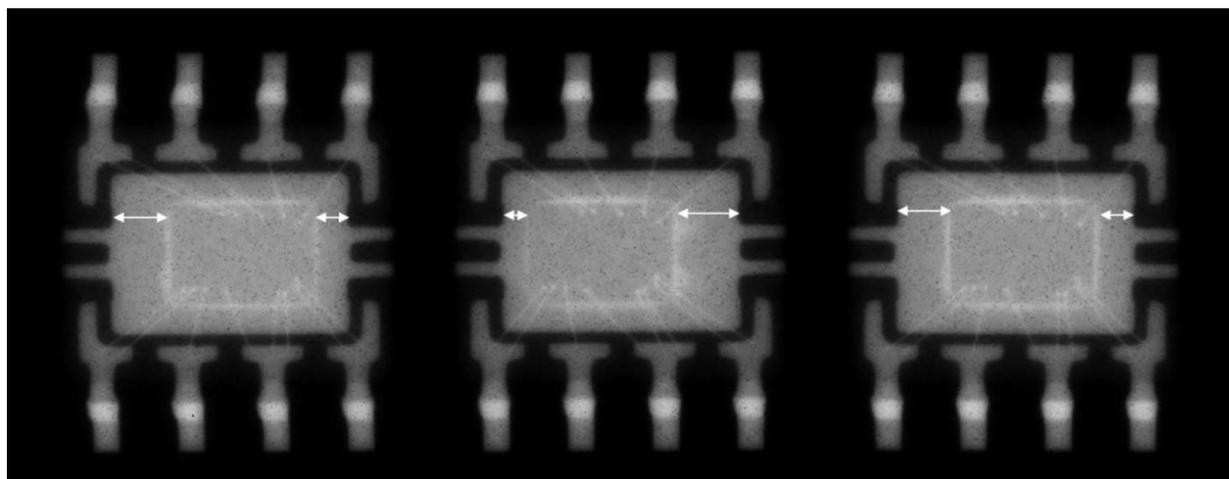


Рис. 2. Рентгеновские фотографии однотипных внешне идентичных образцов приемопередатчика одной партии с отличием в выводной рамке одного из образцов

Fig. 2. X-ray images illustrating the difference in the lead frame of the same type transceivers with same part number



*Рис. 3. Рентгеновские фотографии однотипных внешне идентичных образцов АЦП одной партии со смещением кристалла в одном из образцов*  
*Fig. 3. X-ray images illustrating the difference in the crystal position of the same type ADCs with same part number*

Как видно из рисунков оператор визуально может не заметить подобные различия при проведении идентификации, однако система мониторинга, реализованная с помощью компьютерного зрения, будет более эффективна.

Задачу можно решить с помощью нескольких методов: сверточной нейронной сети и алгоритмов кластеризации. Алгоритмы кластеризации требуют меньшей вычислительной мощности, но и потенциально являются менее точными.

### Заключение

В данной статье представлен обзор основных задач, алгоритмов и методов машинного обучения. Представлены примеры применения методов машинного обучения для анализа и оценки показателей качества ЭКБ. Перспектива применения алгоритмов и методов МО существует для улучшения показателя качества на разных этапах производства и эксплуатации ЭКБ и РЭА.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Джон Келлерхер, Брендан Тирни. Наука о данных: Базовый курс. Пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, ISBN 978-5-9614-3170-4. 2020. – 224 с.
2. Rosenblatt F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*. 1958, 65(6), p. 386–408. DOI: <http://dx.doi.org/10.1037/h0042519>.
3. Барцев С.И., Охонин В.А. Адаптивные сети обработки информации. Красноярск: Ин-т физики СО АН СССР. Препринт № 59Б. 1986. – 19 с.
4. Shim S., Choi S. and Shin Y. Machine learning (ML)-based lithography optimizations. *IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS)*, Jeju, Korea (South). 2016, p. 530–533. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/APCCAS.2016.7804021>.
5. Cho J., Cho G. and Shin Y. Optimization of Machine Learning Guided Optical Proximity Correction. *IEEE 61st International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, Windsor, ON, Canada. 2018, p. 921–924. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MWSCAS.2018.8623985>.
6. Yonghwi Kwon, Youngsoo Song, Youngsoo Shin. Optical proximity correction using bidirectional recurrent neural network (BRNN). *SPIE Advanced Lithography*, 2019, San Jose, California, United States. DOI: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2515159>.
7. Loveless T.D., Reising D.R., Cancellieri J.C., McMorow D., Massengill L.W. Analysis of Single-Event Transients (SETs) Using Machine Learning (ML) and Ionizing Radiation Effects Spectroscopy (IRES). *IEEE*

- Transactions On Nuclear Science. 2021, vol. 68, no. 8, p. 1600–1606. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TNS.2021.3050879>.
8. Adrien Dorise, Corinne Alonso, Audine Subias, Louise Travé-Massuyès, Leny Baczkowski, François Vacher. Machine learning as an alternative to thresholding for space radiation high current event detection. 21th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS), Vienna, Austria. 2021, p. 1–7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/RADECS53308.2021.9954582>.
  9. Eduardo Weber Wächter, Server Kasap, Şefki Kolozali, Xiaojun Zhai, Shoaib Ehsan, Klaus D. McDonald-Maier. Using machine learning for anomaly detection on a system-on-chip under gamma radiation, Nuclear Engineering and Technology. 2022, vol. 54, no. 11, p. 3985–3995. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2022.06.028>.
  10. Амелин С.А., Амелина М.А., Киселёв К.О., Фролков О.А. Применение методов машинного обучения для автоматизированного построения SPICE-моделей силовых МОП-приборов. Международный научно-исследовательский журнал, 2017, № 11(65). Часть 4, с. 11–16. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.65.025>. – EDN: ZXKKVP.
  11. Ожегин Ю.А., Ожегин Т.Ю. Алгоритм идентификации образцов ЭКБ по результатам анализа рентгенографического изображения В сб.: Тез. докл. 17-й Всеросс. научно-техн. конф. по радиационной стойкости электронных систем «Стойкость-2014», г. Лыткарино, 3–4 июня 2014 г., с. 93–94.
  12. Пыхтина А.С., Колосова А.С. Система рентгеновского визуального контроля интегральных схем Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Аннотации докладов. В 3 т. Т. 1. Ядерная физика и энергетика. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 156 с.
  13. Ожегин Ю.А., Ожегин Т.Ю. Применение методики обработки рентгеновских изображений изделий электронной техники при входном контроле в целях испытаний на радиационную стойкость Научная сессия НИЯУ МИФИ-2013. Аннотации докладов. В 3 т. Т. 1. Инновационные ядерные технологии. Высокие технологии в медицине. М.: НИЯУ МИФИ, 2013, с. 110.
  14. Пыхтина А.С., Колосова А.С., Зимин А.В. Процедура контроля однородности партий ИС при испытаниях на СВВ. В сб.: Радиационная стойкость электронных систем «Стойкость-2010». М.: НИЯУ МИФИ. 2010, вып. 13, с. 165–166.
  15. Артамонов А.С., Пыхтина А.С., Сангалов А.А., Колосова А.С. Применение системы рентгеновского визуального контроля кристаллов при подготовке испытаний на СВВ В сб.: Радиационная стойкость электронных систем «Стойкость-2009». М.: МИФИ. 2009, вып. 12, с. 143–144.

#### REFERENCES:

- [1] John D. Kelleher, Brendan Tierney. Data Science. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, 2018 – 280 p.
- [2] Rosenblatt F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. Psychological Review. 1958, 65(6), p. 386–408. DOI: <http://dx.doi.org/10.1037/h0042519>.
- [3] Bartsev S.I., Ohonin V.A. The Adaptive Networks of Information Processing. Krasnoyarsk: Institute of Physics of the Academy of Sciences of the USSR. Preprint, no. 59B. 1986. – 19p. (in Russian).
- [4] Shim S., Choi S. and Shin Y. Machine learning (ML)-based lithography optimizations. IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS), Jeju, Korea (South). 2016, p. 530–533. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/APCCAS.2016.7804021>.
- [5] Cho J., Cho G. and Shin Y. Optimization of Machine Learning Guided Optical Proximity Correction. IEEE 61st International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), Windsor, ON, Canada. 2018, p. 921–924. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MWSCAS.2018.8623985>.
- [6] Yonghwi Kwon, Youngsoo Song, Youngsoo Shin. Optical proximity correction using bidirectional recurrent neural network (BRNN). SPIE Advanced Lithography, 2019, San Jose, California, United States. DOI: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2515159>.
- [7] Loveless T.D., Reising D.R., Cancellieri J.C., McMorrow D., Massengill L.W. Analysis of Single-Event Transients (SETs) Using Machine Learning (ML) and Ionizing Radiation Effects Spectroscopy (IRES). IEEE Transactions On Nuclear Science. 2021, vol. 68, no. 8, p. 1600–1606. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TNS.2021.3050879>.
- [8] Adrien Dorise, Corinne Alonso, Audine Subias, Louise Travé-Massuyès, Leny Baczkowski, François Vacher. Machine learning as an alternative to thresholding for space radiation high current event detection. 21th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS), Vienna, Austria. 2021, p. 1–7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/RADECS53308.2021.9954582>.
- [9] Eduardo Weber Wächter, Server Kasap, Şefki Kolozali, Xiaojun Zhai, Shoaib Ehsan, Klaus D. McDonald-Maier. Using machine learning for anomaly detection on a system-on-chip under gamma radiation, Nuclear Engineering and Technology. 2022, vol. 54, no. 11, p. 3985–3995. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2022.06.028>.

- [10] Amelin S.A., Amelina M.A., Kiselev K.O., Frolkov O.A. Application of methods of machine training for automated construction of spice models of power mosfet instruments. International research journal. 2017, № 11(65). Part 4, p.11–16. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.65.025> (in Russian). – EDN: ZXKKVP.
- [11] Ozhegin Yu.A., Ozhegin T.Yu. Electronic Components Identification Algorithm Based on The X-Ray Analysis Results In: Proceedings. report 17th All-Russian. scientific and technical conf. on radiation resistance of electronic systems "Stoykost'-2014", Lytkarino, June 3–4, 2014, p. 93–94 (in Russian).
- [12] Pykhtina A.S., Kolosova A.S. ICs X-ray Visual Control System In: Scientific session of NRNU MPhI-2010. Annotations of reports. In 3 vols. T. 1. Nuclear physics and energy. M.: NRNU MPhI, 2010. – 156 p. (in Russian).
- [13] Ozhegin Yu.A., Ozhegin T.Yu. Application of ICs X-ray Image Correction Technique in Incoming Inspection for Radiation Resistance Test In: Scientific session of NRNU MPhI-2013. Annotations of reports. In 3 volumes. V. 1. Innovative nuclear technologies. High technologies in medicine. M.: NRNU MPhI, 2013, p. 110 (in Russian).
- [14] Pykhtina A.S., Kolosova A.S., Zimin A.V. ICs Batches Homogeneity Control Procedure for Radiation Resistance Tests In: Radiation resistance of electronic systems "Stoykost'-2010". M.: NRNU MPhI. 2010, no. 13, p. 165–166 (in Russian).
- [15] Artamonov A.S., Pykhtina A.S., Sangalov A.A., Kolosova A.S. Application of ICs X-ray Visual Control System in Radiation Resistance Tests Preparation In: Radiation resistance of electronic systems "Stoykost'-2009". M.: MPhI. 2009, no. 12, p. 143–144 (in Russian).

*Поступила в редакцию – 19 сентября 2022 г. Окончательный вариант – 17 февраля 2023 г.  
Received – September 19, 2022. The final version – February 17, 2023.*