

и возникновению асимметрии, тогда как уменьшение коэффициента вязкости способствует сужению петли и снижению коэрцитивного поля. Полученные результаты позволяют использовать данную модель для прогнозирования функциональных характеристик градиентных материалов.

1. Масловская, А. Г. Применение вариационных принципов для компьютерного моделирования динамики доменной границы сегнетоэлектрика в поле градиента температуры / А. Г. Масловская // Информатика, телекоммуникации и управление. 2013. № 1(164). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenie-variatsionnyh-principov-dlya-kompyuternogo-modelirovaniya-dinamiki-domennoy-granitsy-segnetoelektrika-v-pole-gradienta> (дата обращения: 10.12.2025).
2. Фазовые переходы в сегнетоэлектриках с распределенной поляризацией, вызванной закономерным изменением состава: Договор с БРФФИ № Ф08Р-110 от 1 апр. 2008 г. : отчет о НИР (заключ.) / науч. рук. В. Н. Шут ; [исполн.: В. Н. Шут, И. Ф. Кашевич, С. Е. Можаров, Ю. А. Шиенок]; М-во образования Республики Беларусь, УО "ВГУ им. П. М. Машерова". – Витебск, 2010. – 46 л. – URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/24873> – (дата обращения: 10.12.2025).
3. Мороз, Л. И., Масловская А. Г. Математические модели поляризационных характеристик сегнетоэлектриков в рамках теории Ландау - Гинзбурга - Девоншира // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2021. № 95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-polarizatsionnyh-harakteristik-segnetoelektrikov-v-ramkah-teorii-landau-ginzburga-devonshira> (дата обращения: 10.12.2025).
4. Shut, V. N. Ferroelectrics with composition gradient: On the nature of hysteresis loop shift / V. N. Shut // Physics of the Solid State. - 2013. - Т. 55, № 7. - С. 1438-1441. - DOI: 10.1134/S1063783413070292.

## ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ И НЕЭКСТРЕМАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИИ, ПОЛУЧЕННОМ ПРИБОРОМ

*O.В. Юхновская, М.А. Гундина, К.В. Пантелеев  
Минск, Белорусский национальный технический университет*

В работе разрабатывается математический аппарат для автоматизированного выявления аномальных значений (экстремальных и неэкстремальных) в данных, получаемых от технического прибора.

Сложность современных научных исследований, связанных с обработкой большого объема данных, приводит к резкому увеличению измерительной информации, ручная обработка которой без специализированных систем становится практически невозможной [1, 2]. При этом вопрос построения эффективного математического аппарата для надежного обнаружения этих аномалий, возникающих на этапах измерения, обработки или передачи данных, остается открытым [3]. Аномальные значения могут быть экстремальными и не экстремальными. Неэкстремальные значения умеренно далеки от остальных данных, экстремальные имеют большее расстояние от общего массива данных [4]. Таким образом, не экстремальные аномальные значения соответствуют событиям с вероятностью порядка  $\sim 10^{-3}$ , а экстремальные – порядка  $\sim 10^{-5}$  и меньше.

**Материал и методы.** В результате картирования поверхностного электростатического потенциала наблюдается существенное ухудшение пространственного разрешения в краевых зонах. Это проявляется в снижении контрастности цветового кодирования на периферии, отклонении формы карты потенциалов от геометрии образца, повышенная погрешность измерений потенциала по всей поверхности с максимальными отклонениями в приграничных зонах. Таким образом, областью интереса являлась непосредственно область на изображении, соответствующая области поверхности образца, представляющая собой круг диаметром 50 миллиметров.

Для выявления аномальных значений в наборе данных на основе подхода мультинормального (многомерного нормального) распределения в Wolfram Mathematica можно использовать следующий подход.

Сначала задаем функцию для нахождения локальных аномалий по третьей координате точек.

```
findLocalAnomalies[data_, radius_, thresholdMultiplier_] :=  
Module[{anomalies = {}}, n = Length[data], zDeviations},
```

Вычисляем отклонения третьей координаты от локальных соседей. Выбираем соседние точки в пределах заданного радиуса. Считаем числовые характеристики выборки. Определяем отклонение текущей точки от локального среднего в единицах стандартного отклонения следующим образом:

deviation = Abs[(data[[i, 3]] - zMean)]/If[zStd > 0, zStd, 1]; deviation, 0],{i, n} ];

Определяем порог для аномалий. Находим аномальные точки.

При построении алгоритма учитывается радиус поиска соседей в пространстве X, Y, множитель для определения порога аномальности.

**Результаты и их обсуждение.** В результате построен график отклонения третьей координаты (Z) от локальных средних (рис. 1).

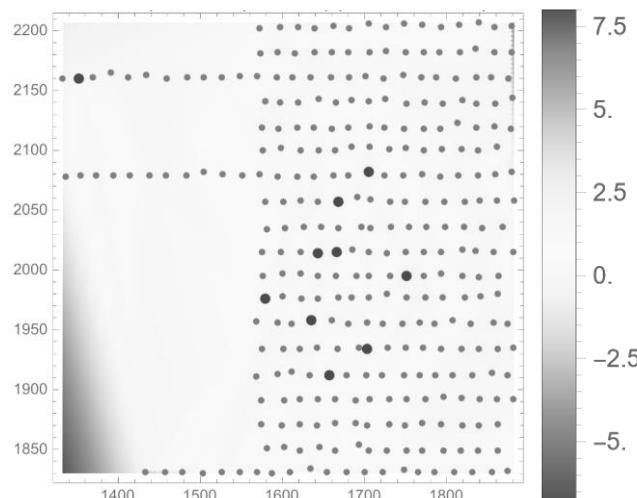


Рисунок 1 – Отклонения третьей координаты (Z) от локальных средних

На рис. 1 жирными точками выделены аномалии. Однако данный плотностной график не дает нам оценку наличия экстремальных и неэкстремальных аномальных значений.

На рис. 2 представлена гистограмма распределения локальных отклонений точек. Штриховой линией отделен набор данных, указывающий на наличие аномальных значений.

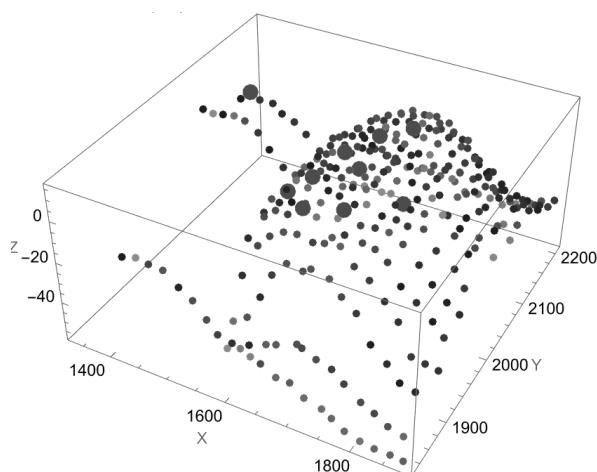


Рисунок 2 – Распределение точек с выделенными аномалиями

Построим гистограмму распределения локальных отклонений (рис. 3). На ней видно резкое отделение некоторых значений.

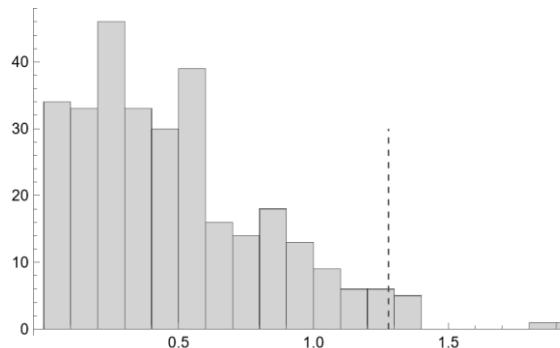


Рисунок 3 –Гистограмма распределения локальных отклонений

Для определения характера этих аномалий построим график распределения отклонений (рис. 4).

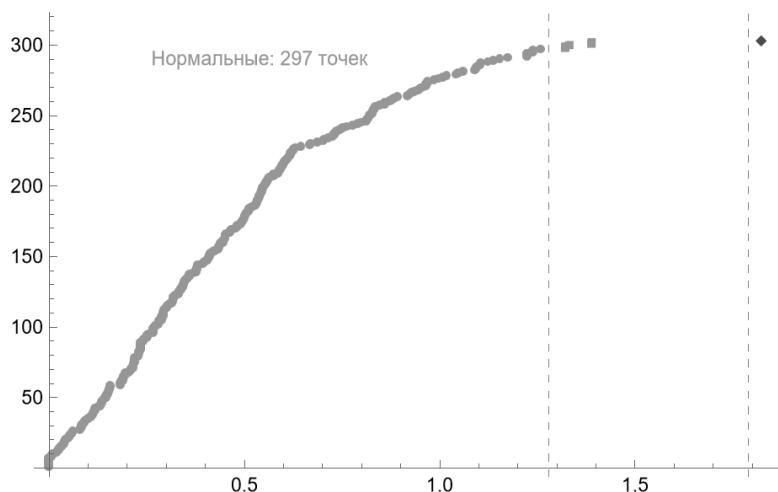


Рисунок 4 – Точки отсортированные по отклонению

Две штриховые линии указывают границы экстремальных и неэкстремальных аномальных значений.

**Заключение.** В данной работе разработан и апробирован комплексный подход к автоматизированному выявлению аномальных значений в данных промышленных измерительных систем, с особым акцентом на обработку изображений. Основу методики составляет применение многомерного нормального распределения, позволяющего статистически обоснованно идентифицировать грубые выбросы на основе анализа плотности мульти常态ного распределения.

1. Гундин, А. А. Обработка цифровых изображений при дефектоскопии поверхностей промышленных объектов / А. А. Гундин, М. А. Гундина, А. Н. Чешкин // Наука и техника. – 2016. – № 3. - С. 225 - 232. DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-3-225-232

2. Гундина, М.А. Особенности процесса определения количества аномальных значений при обработке измерительной информации / М.А. Гундина, П.С. Богдан, О.В. Юхновская. // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 2 (77). – С. 96–103. DOI: 10.24412/2077-8481-2024-2-96-103

3. Юхновская, О.В. Статистический подход к обнаружению и удалению шумовых выбросов в визуализированных данных зондовой электрометрии / О.В. Юхновская, М.А. Гундина, Е.Д. Ромашко, К.В. Пантелеев // Приборы и методы измерений. – 2025. –Т.16. – № 4. – С. 406–416. DOI: 10/21122/2220-9506-2025-16-4-406-416

4. SPSS Finding Outliers in a Dataset [Electronic resource] – Access mode: [www.statistichero.com/en/spss-finding-outliers-in-a-dataset](http://www.statistichero.com/en/spss-finding-outliers-in-a-dataset). – Access date: 08.12.2025.