

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии  
и управления качеством

**ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ НАНОМЕТРОЛОГИИ**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студентки 4 курса 4101 группы  
направления 27.03.02 «Управление качеством»  
института физики

Кабуз Валерии Сергеевны

Научный руководитель,  
доцент, к.ф.-м.н., доцент  
\_\_\_\_\_

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.В. Стецюра  
\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,  
д.ф.-м.н., профессор  
\_\_\_\_\_

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.Б. Вениг  
\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

**Введение.** В начале XXI века началось активное развитие таких направлений как «нанотехнологии» и «наноиндустрия», вместе с ними возникла нанометрология.

Разработки по развитию и формированию нанометрологии являются очень актуальными, поскольку необходимо опережающее развитие измерительной информации на рынке современных технологий. Технологии в современном мире стремительно развиваются, что очень положительно сказывается на нанометрологии. Появились и усовершенствовались микроскопы, которые позволяют более подробно разглядеть объект в нанодиапазоне. Но есть одно «но». Данные, полученные в процессе сканирования поверхности, не всегда дают точные изображения – чаще всего это изображения, далекие от реальности. Эту проблему может решить компьютерная обработка.

Целью выпускной квалификационной работы является оценка развития нанометрологии как науки, оценка социальной значимости этой области знания, полученная посредством анкетирования студентов, а также рассмотрение возможности повышения качества изображения, полученного с помощью атомно-силовой микроскопии, посредством компьютерной обработки.

На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучение научных и научно-популярных публикаций для определения роли нанотехнологий в современном обществе, а также задач, стоящих перед нанометрологией;
- изучение стандартов в области нанометрологии и их классификация;
- изучение метода атомно-силовой микроскопии (АСМ), как наиболее популярного метода получения данных в нанодиапазоне, составление блок-схемы, иллюстрирующей метод;
- изучение артефактов АСМ изображений и возможностей программного обеспечения Gwyddion по их устранению, составление диаграммы Исикавы, аккумулирующей проблемы измерений в нанодиапазоне;
- применение практических навыков обработки наноразмерных изображений посредством программы Gwyddion;

- проведение тестирования студентов на знание нанометрологии и анализ результатов.

Дипломная работа занимает 66 страниц, имеет 51 рисунок и 2 таблицы. Обзор составлен по 31 информационным источникам.

### **Основное содержание работы**

Во введении рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

*Первый раздел* представляет собой описание нанотехнологий, как движущего фактора развития нанометрологии.

Был проведен анализ научных и нормативных источников, которые показывают возрастание значимости нанотехнологий для науки.

Появление нанометрологии напрямую связано с развитием нанотехнологий.

Нанотехнологии поставили ряд новых специфических задач, обусловленных малыми размерами элементов и структур, с которыми приходится иметь дело в данной области. Здесь, как нигде, актуален тезис: «Если нельзя правильно измерить, то невозможно создать» [1].

Перед нанометрологией, стоит ряд сложных задач, которые были описаны и представлены в виде диаграммы (рисунок 1).

Отличие нанометрологии от обычной метрологии обусловлено тем, что переход в область нанодиапазона несёт за собой как количественные, так и качественные изменения свойств вещества.

Ещё одно отличие – проблема выбора методов и средств измерений, параметров нанообъектов, необходимых для создания эталонов [2].

Для того, чтобы выявить все проблемы нанометрологии, была составлена диаграмма Исикавы (причинно-следственная диаграмма), на которой показаны причины, порождающие проблемы нанометрологии, описанные в научной литературе (рисунок 2).



Рисунок 1 – Основные группы задач нанометрологии



Рисунок 2 – Диаграмма Исикавы «Проблемы нанометрологии»

*Во втором разделе* работы говорится про стандартизацию и сертификацию в области нанометрологий.

Одна из главных задач – стандартизация параметров и свойств материалов,

объектов, элементов и структур нанотехнологий. Решение этой задачи при межотраслевом и междисциплинарном характере нанотехнологий несёт в себе объединяющее начало. Возникает необходимость стандартизации терминов и определений, которая направлена на решение проблем общения и взаимопонимания не только внутри одной страны, но и в рамках обмена информацией между странами. Отсюда следует, что методики измерений, калибровки и поверки средств измерений, применяемых в нанотехнологиях, должны быть аттестованы и стандартизованы. Это определяет потребности развития инфраструктуры nanoиндустрии [3].

Была составлена классификация ГОСТов в области нанометрологии (рисунок 3).

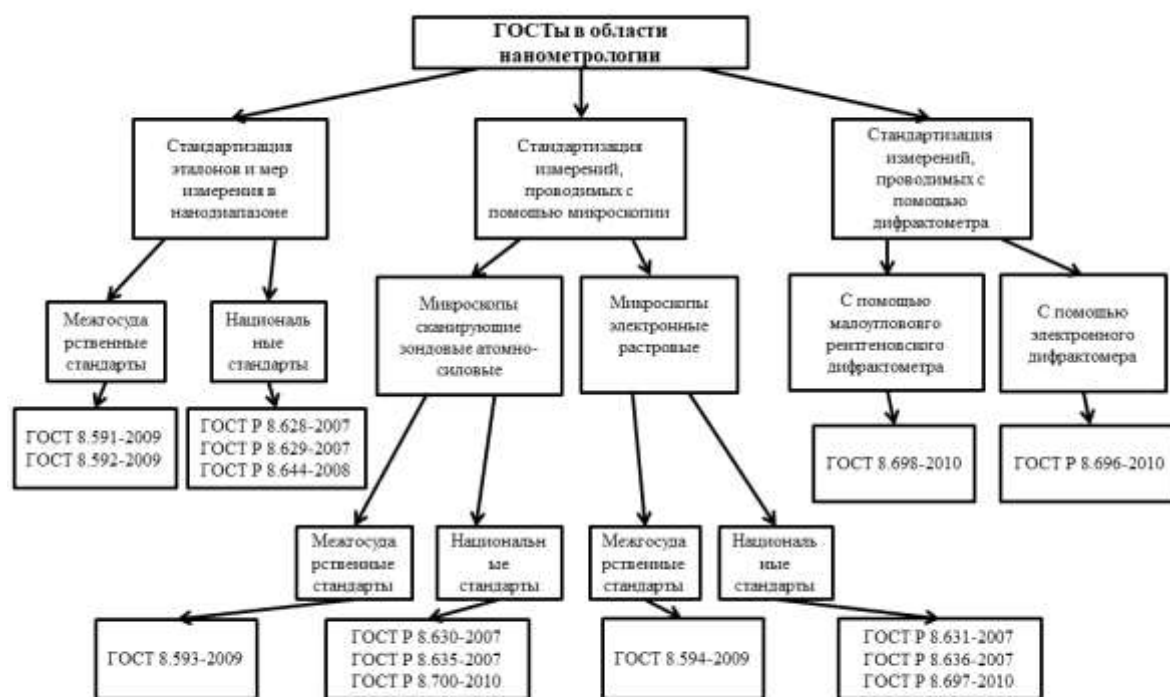


Рисунок 3 – Классификация ГОСТов в области нанометрологии

*В третьем разделе* работы говорится о роли компьютерной обработки результатов в нанометрологических измерениях.

Микроскопы – основной инструмент для наблюдения и измерений сверхмалых объектов.

Основная роль в исследовании наномира выпала на сканирующую

зондовую микроскопию – СЗМ. Её создание послужило важнейшим стимулом для развития нанотехнологий. СЗМ позволяют наблюдать атомно-молекулярную структуру поверхности в нанометровом диапазоне размеров и конструировать структуры на атомном уровне с заранее заданными свойствами.

Был составлен алгоритм, который позволяет провести измерение скана АСМ.

При сканировании твёрдых тел получают увеличенное изображение поверхности. Истинное изображение поверхности позволяет получить идеальный микроскоп, но если измерение, в результате которого получается изображение, отличается от истинной поверхности образца, то оно является артефактом [4]. Артефакты – это ложные детали изображения, которые искусственно возникли при исследовании. В АСМ число артефактов велико, по сравнению с другими методами СЗМ.

Была проведена классификация причин, вызывающих различные артефакты с помощью диаграммы Исикавы (рисунок 4).



Рисунок 4 – Диаграмма Исикавы «Возникновение артефактов»

Для получения достоверных данных об исследованной поверхности необходимо корректно интерпретировать полученные в результате

сканирования изображения, для чего, как правило, проводят их компьютерную обработку, которая позволяет избавиться от различных дефектов сканирования, выявить характерные особенности изображения, провести ряд измерений [2].

**В четвертом разделе** работы говорится о разработке тестовых заданий, показывающих уровень знаний студентов института физики в области нанометрологии.

Нанометрология – это будущее, которое уже наступило. Но, к сожалению, не все знают о существовании данного направления.

Для проверки знаний студентов было проведено тестирование, целью которого является определение уровня знаний у студентов института физики. Также тестирование помогает понять, важно ли такое направление, как нанометрология, в программе обучения, по мнению студентов.

Апробация разработанных тестовых заданий осуществлялась на следующих специальностях: «Управление качеством» (3-4 курс); «Биотехнические системы и технологии» (4 курс); «Материаловедение и технологии материалов» (4 курс; 1 курс магистратуры); «Инноватика» (4 курс).

Исходя из полученных результатов был сделан вывод о том, что знания в сфере нанометрологии у студентов имеются, но они очень неполные и требуют более глубокого изучения предмета. Максимальный балл – 45, был набран студентом специальности «Материаловедения и технологии материалов» 1 курс магистратуры. Минимальный балл – 17, набран студентом специальности «Инноватика» 4 курс.

На вопрос о том, необходимо ли ввести такой отдельный предмет, как нанометрология, однозначно ответ «да», поскольку нанометрология является относительно новым направлением и очень важно его изучать сейчас, т.к. это наше будущее.

**В пятом разделе** работы говорится о программе Gwyddion и её возможности в области устранения артефактов АСМ изображений.

Для того, чтобы устранить артефакты АСМ изображения, была использована программа Gwyddion и составлена блок-схема (рисунок 5),

показывающая последовательность действий при компьютерной обработке исходного скана.

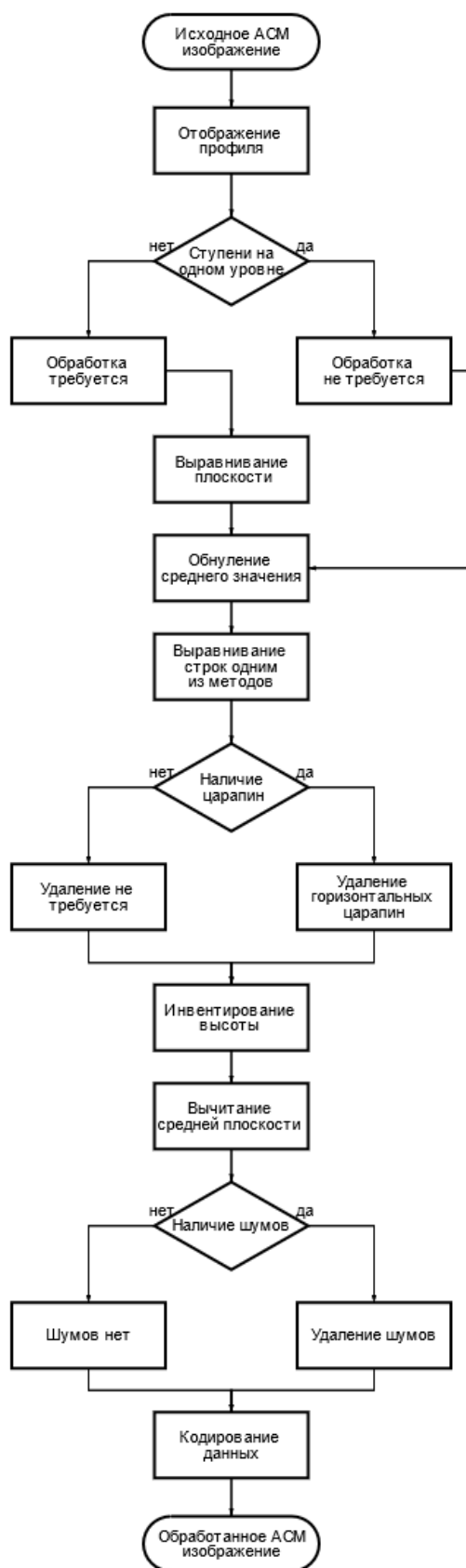


Рисунок 5 – Алгоритм проведения обработки АСМ-изображения



В качестве объекта исследования был взят тестовый образец TGZ3 (рисунок 6).

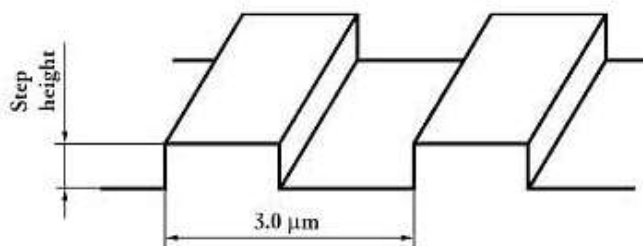


Рисунок 6 – Схематичное изображение решетки [5]

Далее проводилась обработка изображения (рисунок 7) и был получен нужный результат (рисунок 8).

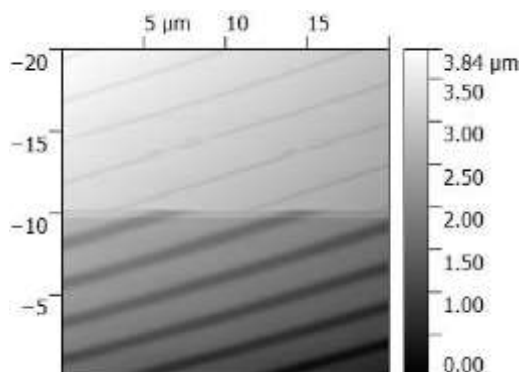


Рисунок 7 – Исходное (без обработки) АСМ изображение тестового образца TGZ3

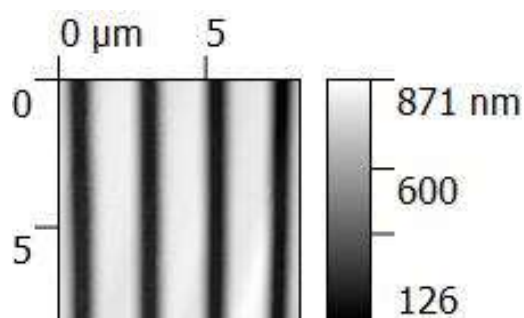


Рисунок 8 – АСМ-изображение после обработки

В ходе выполнения обработки тестового образца TGZ3 с помощью программы Gwyddion, были устранены артефакты изображения.

Было достигнуто выравнивание высот, удаление царапин, что существенно повысило качество изображения наноразмерной структуры и максимально приблизило его к реальному изображению, соответствующему тестовому образцу TGZ3.

**Заключение.** В ходе выполнения практики были получены следующие результаты:

- изучена роль нанотехнологий в современном обществе;
- изучены задачи, стоящие перед нанометрологией, рассмотрены основные проблемы и причины их вызывающие – составлена диаграмма Исикавы;
- изучены стандарты в области нанометрологии и проведена их классификация;
- изучена информация о возможностях СЗМ и о возможности появления артефактов при обработке СЗМ изображения;
- изучена и применена на практике программа Gwyddion для обработки тестового образца TGZ3;
- составлены две блок-схемы: алгоритм получения АСМ-скана и алгоритм проведения компьютерной обработки АСМ-изображения, который в последствии была применена на практике;
- составлена диаграмма Исикавы, направленная на определение причин, вызывающих различные артефакты;
- проведена компьютерная обработка тестового образца в соответствии с разработанным алгоритмом действий. Было установлено, что для того, чтобы повысить качество изображения, полученного в нанометровом диапазоне с помощью атомно-силовой микроскопии, необходимо применить компьютерную обработку, которая играет большую роль. С помощью компьютерной обработки удалось существенно повысить качество изображения наноразмерной структуры и максимально приблизить его к реальному изображению, соответствующему тестовому образцу TGZ3;
- составлена анкета и с помощью Google forms проведено тестирование студентов на знание нанометрологии;
- проведен анализ результатов, который показал, что студенты имеют некоторые знания в области нанометрологии, которые связаны с изучением метрологии, но эти знания не полные. Также больше половины опрошенных

считают, что такой предмет, как нанометрология, необходим в изучении. А самые большие результаты (35-45 баллов) показали студенты 1 курса магистратуры.

#### **Список использованных источников**

1 Дроздов, О. И. Сканирующая зондовая микроскопия в нанометрологии / О. И. Дроздов, Н. С. Юраков, Т. Г. Юракова // Современные материалы, техника и технологии. – 2019. – № 2(23). – С. 91-97.

2 Сергеев, А. Г. Введение в нанометрологию : учебное пособие / А. Г. Сергеев. – Владимир : ВлГУ, 2010. – 296 с.

3 Тодуа, П. Нанотехнологии. Нанометрология и стандартизация // Наноиндустрия. – 2009. – № 2. – С. 32-38.

4 Артефакты в сканирующей зондовой микроскопии [Электронный ресурс] // СЗМ Nano Education [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL : [https://nano.donstu.ru/labrab/4A\\_S\\_P\\_M.pdf](https://nano.donstu.ru/labrab/4A_S_P_M.pdf) (дата обращения: 18.05.2021). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

5 TGZ3 [Электронный ресурс] // TiosNano [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL : <http://tipsnano.ru/catalog/calibration/tgz3/> (дата обращения: 18.05.2021). – Загл. с экрана. – Яз. рус.