

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

Кафедра материаловедения, технологии  
и управления качеством

**НАНОМЕТРОЛОГИЯ – КЛЮЧЕВОЕ ЗВЕНО ИНФРАСТРУКТУРЫ  
НАНОТЕХНОЛОГИЙ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студентки магистратуры 2 курса 2301 группы  
направления 27.04.02 «Управление качеством»,  
профиль «Менеджмент качества в инженерной и образовательной  
деятельности»  
института физики

Чиченкиной Татьяны Викторовны

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

Саратов 2021

**Введение.** Актуальность научной работы обусловлена развитием нанотехнологий и их определяющим влиянием на науку, общество и человека. Развитие нанотехнологий, в свою очередь, привело к появлению новых задач и целей в областях науки и техники, связанных с очень малыми размерами структур и элементов, с возможностью их идентификации, измерения и контроля.

С этой целью стал разрабатываться раздел метрологии – нанометрология, методы и инструментарий которой принципиально отличаются от методов и инструментов «классической» метрологии.

Нанометрология является весьма важной областью исследований и разработок, объединяющей в себе возможности для открытий в фундаментальной науке и открывающей перспективы коммерческого применения [1].

**Целью** данной работы являлось изучение развития нанометрологии как важной области исследования сверхмалых размеров структур и их элементов.

Для достижения данной цели были сформулированы следующие **задачи**:

1. провести обзор научно-технической литературы за 2015-2020 годы на темы: области применения СЗМ, основные проблемы нанометрологии и нанометрологические измерения в различных сферах деятельности;
2. рассмотреть современное оборудование для проведения измерений на наноуровне.
2. проанализировать публикационную активность в области нанометрологии за период с 1990 года по настоящее время;
3. изучить и классифицировать нормативную базу стандартизации в области нанометрологии;
4. составить диаграмму Исикавы на тему «от чего зависит прогресс нанотехнологий».

Дипломная работа занимает 48 страниц, содержит 14 рисунков и 54 информационных источника.

## **Основное содержание работы**

**Обзор научной литературы на тему нанометрологии.** В пункте 1.1 названной выше главы рассматривается определение понятия нанометрологии как науки, описывается основной ее метод измерения - сканирующая зондовая микроскопия. В следующем пункте этой главы перечислены три основные области применения сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), описаны нанометрологические измерения авторов статей. В пункте 1.3 были проанализированы публикации в научных изданиях, отражающие проблемы нанометрологии и описывающие проведение нанометрологических измерений в таких сферах, как машиностроение и пищевая промышленность. Для проведения этих измерений чаще всего применяются следующие методы: электронная микроскопия высокого разрешения (электронные просвечивающие и сканирующие высокоразрешающие микроскопы); сканирующая зондовая микроскопия; различные методы спектроскопии, нанотестирование.

**Анализ динамики публикационной активности в области нанометрологии по данным eLIBRARY.RU.** Одной из самых полных баз, содержащих публикации, патенты, учебные пособия и диссертации по самым разнообразным научным направлениям, является Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [2], созданная в 1999 году по инициативе Российского фонда фундаментальных исследований.

Проводя анализ публикаций в этой научной электронной библиотеке, можно получить достаточно достоверную информацию о динамике публикационной активности в области нанометрологии.

В данной главе объясняется, какие ключевые слова были выбраны для проведения анализа публикаций на тему нанометрологических измерений; содержатся диаграммы, отражающие публикационную активность по ключевым словам в отдельности и публикационную активность по объединенным результатам. На рисунке 1 показана объединенная диаграмма публикационной активности на тему нанометрологических исследований (по данным eLibrary).

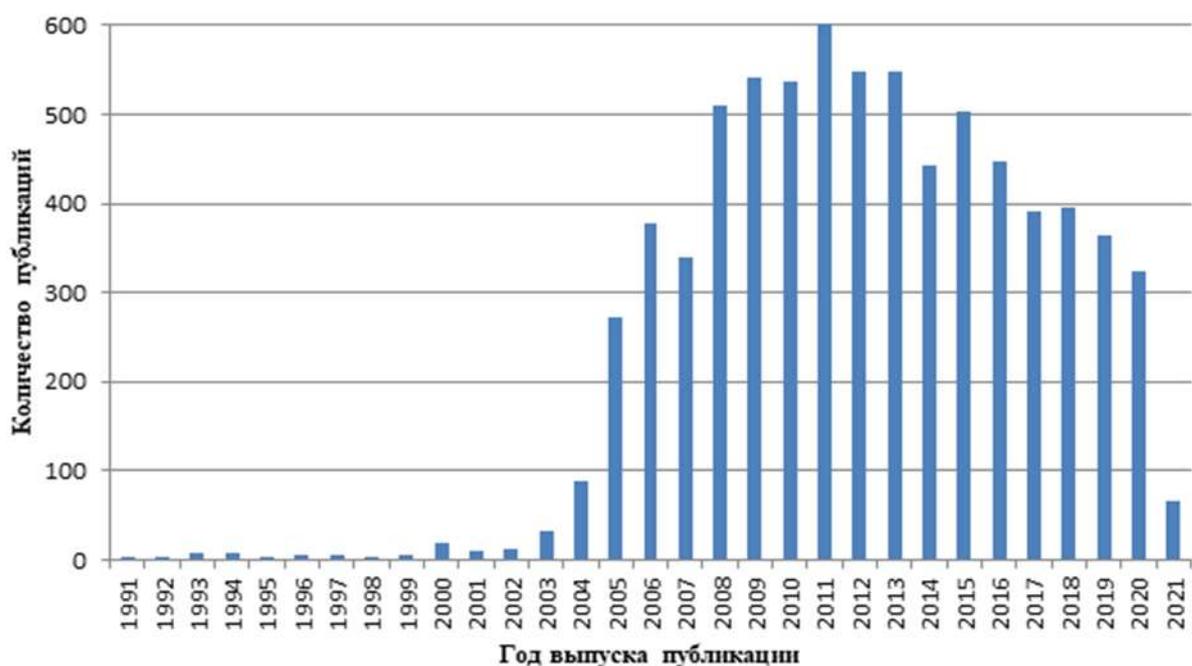


Рисунок 1 – Объединенная диаграмма публикационной активности на тему нанометрологических исследований (по данным eLibrary)

### **Изучение ГОСТ РФ в области нанометрологии и проведение их классификации**

Для обеспечения нормативной базы нанометрологии к настоящему времени разработаны и внедрены и широко используются такие национальные стандарты, как ГОСТ Р 8.628-2007 «Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона из монокристаллического кремния. Требования к геометрическим формам, линейным размерам и выбору материала для изготовления»; ГОСТ Р 8.629-2007 «Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона с трапецеидальным профилем элементов. Методика поверки»; ГОСТ Р 8.630-2007 «Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые измерительные. Методика поверки» и т.д.

Разработаны и введены в действие Межгосударственные стандарты (СНГ), например: ГОСТ 8.591-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона с трапецеидальным профилем элементов. Методика поверки»; ГОСТ 8.592-2009

«Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона из монокристаллического кремния. Требования к геометрическим формам, линейным размерам и выбору материала для изготовления» [3].

В результате анализа ГОСТов были 4 типа стандартов, а также 4 категории объектов стандартизации, разработанная классификация проиллюстрирована диаграммой.

Пункт 3.2 содержит описание серии ГОСТов №8004 «Нанотехнологии» и их классификацию по принадлежности к группам «Объекты нанотехнологий» и «Методы измерений нанообъектов».

На рисунке 2 показано разделение стандартов этой серии на две группы по принадлежности к темам: «Объекты нанотехнологий» и «Методы измерений нанообъектов».

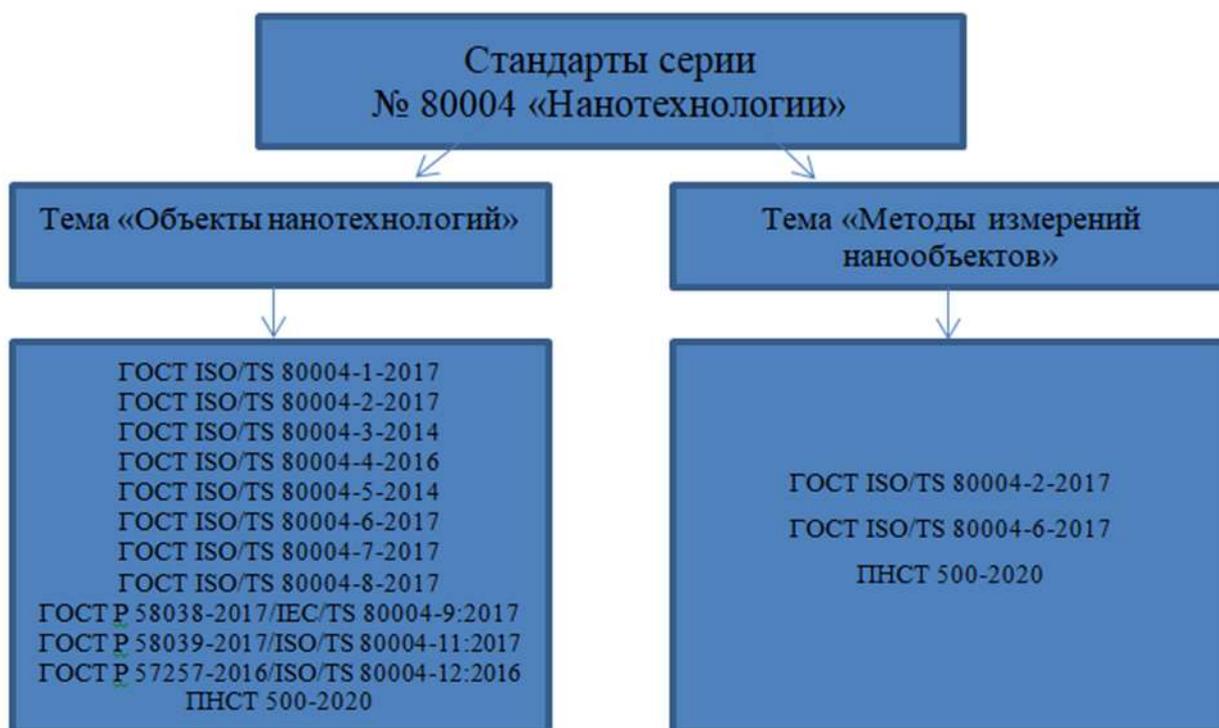


Рисунок 2 – Классификация ГОСТов серии «Нанотехнологии» по принадлежности к группам: «Объекты нанотехнологий» и «Методы измерений нанообъектов»

**Составление диаграммы Исикавы на тему «прогресс в области нанотехнологий».** В данной главе приводится перечень основных проблем измерений методом атомно-силовой микроскопии и построения диаграмма Исикавы.

Очевидно, что она может конкретизироваться и далее, поскольку прогресс в области нанотехнологий продолжается, что вызывает новые вопросы и ставит новые задачи перед метрологами, работающими в нанодиапазоне.

На рисунке 3 показана диаграмма Исикавы, составленная на основе проанализированных научных статей.

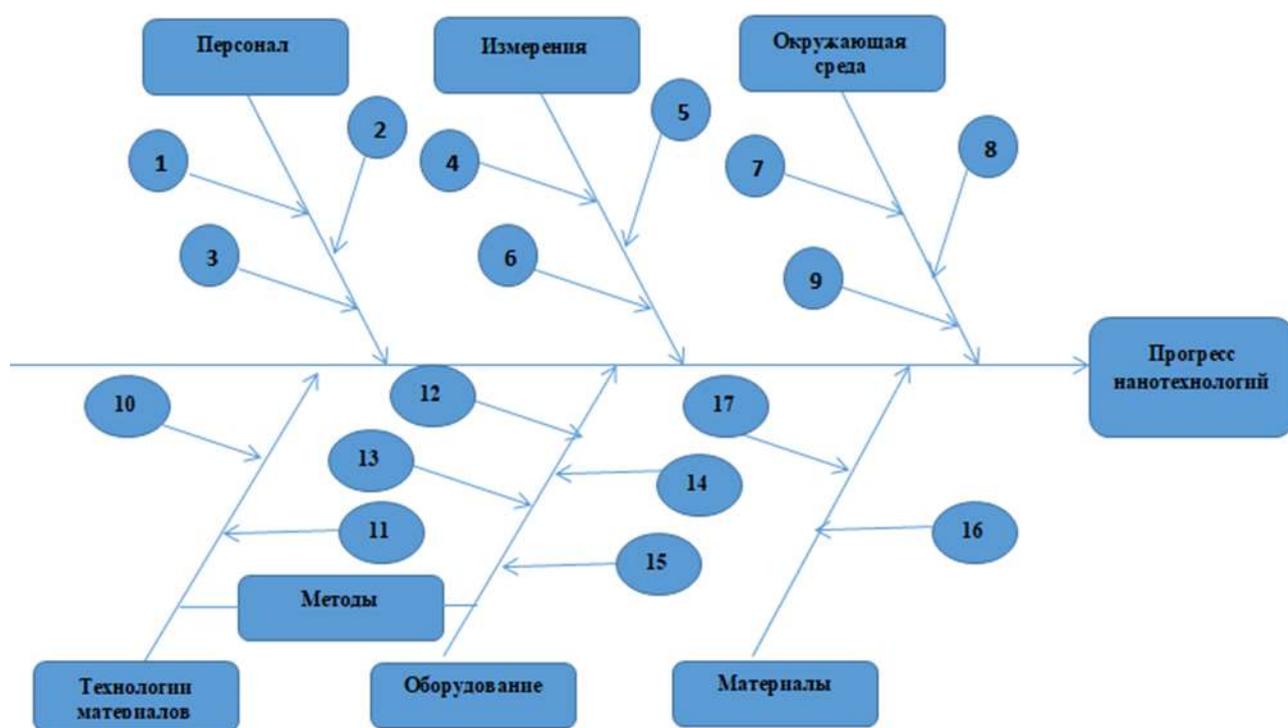


Рисунок 3 – Диаграмма Исикавы «Движущие силы прогресса нанотехнологий»

**Заключение.** В ходе подготовки выпускной квалификационной работы был проведен обзор научно-технической литературы по нанометрологии, рассмотренная литература позволила выделить основные области применения СЗМ:

- нанометрия (исследование шероховатости, износостойкости поверхности, ее адгезионных свойств; физико-химических, электрофизических и электромеханических свойств и биологической активности наноматериалов);
- нанотехнология (изучение, модификация материалов и т.д.);
- биология и биотехнология (исследование биополимеров, белков, ДНК, бактерий, вирусов и т.п.).

Обзор литературы также помог определить проблемы нанометрологии и понять, специфику нанометрологических измерений в таких сферах деятельности, как машиностроение и пищевая промышленность. Проблемами нанометрологи авторы статей считают:

- отсутствие специалистов данной области в лабораториях институтов, университетов, в которых и находится все необходимое для измерений оборудование, но такие люди есть в центрах стандартизации и метрологии;
- зачастую отсутствие эталонов физических величин;
- научно-техническую проблему обеспечения единства измерений в нанотехнологиях.

Что касается оборудования, то для диагностики наноматериалов чаще всего применяются следующие методы: электронная микроскопия высокого разрешения (электронные просвечивающие и сканирующие высокоразрешающие микроскопы); сканирующая зондовая микроскопия; различные методы спектроскопии, нанотестирование.

В ходе выполнения работы была проанализирована публикационная активность на тему нанометрологических исследований, поиск проводился по ключевым словам: нанотехнология, нанообъект и нанометрология за период с 1990 по настоящее время. По каждому из ключевых слов были построены диаграммы, исходя из всех результатов была построена объединенная диаграмма, которая показала, что 2011 год стал пиком активности выпуска научных исследований на тему нанометрологии. В целом же, интерес ученых к данной теме наблюдается с 2004 года (в это время выпущено 89 работ); с этого года по настоящее время сохраняется высокая публикационная активность (за

2021 год уже насчитано 65 публикаций), то есть снижение активности по сравнению с предшествующими годами не ожидается.

Также в рамках работы изучена и классифицирована нормативная база стандартизации в области нанометрологии. В результате анализа ГОСТов в этой области были выделены стандарты по 4-м категориям:

1 – Требования к геометрическим формам, линейным размерам и выбору материала для изготовления.

2 – Методика выполнения измерений.

3 – Методика калибровки.

4 – Методика поверки.

Проанализирована новая серия стандартов № 80004 «Нанотехнологии», проведена стратификация (разделение) стандартов этой серии на две группы по принадлежности к темам: «Объекты нанотехнологий» и «Методы измерений нанообъектов».

Анализ прогресса в области нанотехнологий и развития нанометрологии показал факторы, которые негативно на него влияют. Основными факторами являются:

- косвенный характер всех измерений на наноуровне (в основе всегда лежит какое-либо физическое явление);
- необходимость учета физических ограничений, лежащих в основе измерения;
- отсутствие опыта работы персонала на новейшем оборудовании;
- отсутствие систематического повышения квалификации технического персонала в области нанометрии и нанотехнологий;
- быстро устаревающее оборудование;
- несвоевременная замена изнашиваемых деталей и программного обеспечения;
- несоответствие возможностей оборудования требованиям к наноизделию;

- необходимость измерения новых материалов с неизученными свойствами («с сюрпризами» при измерении и интерпретации данных);
- не достаточно технологичный (плохо обрабатывается, принимает форму и т.д.) материал;
- несоблюдение технологического и измерительного алгоритмов;
- необходимость учета артефактов, специфичных для метода измерений;
- устаревшее программное обеспечение или алгоритмы пересчета
- необходимость поддержания особых условий («чистая комната»)
- невозможность обеспечения в ряде случаев отсутствия вибрации, шума, электрофизических полей и других внешних воздействий.

На основе этих данных была построена диаграмма Исикавы.

#### **Список использованных источников**

- 1 Стрельников, Д. В. Метрология нанотехнологий и организация оптимальных схем проведения комплексных испытаний в целях сертификации / Д. В. Стрельников // Наука, техника и образование. – 2018. – №. 7 (48). – С. 40-44
- 2 eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] // Научная электронная библиотека [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL : <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 06.05.2021). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 3 Тодуа, П. Метрология в нанотехнологии / П. Тодуа // Российские нанотехнологии. – 2007 – Т. 2, № 1-2. – С. 61-69.