

**Мусалимов Марис Наилевич,**  
курсант 223 учебной группы, 2 факультета,  
ФВУНЦ ВВС «ВВА» в г. Челябинске

**Попов Юрий Леонидович,**  
К. И. Н., доцент, профессор АВН  
ФВУНЦ ВВС «ВВА» в г. Челябинске

## ПРИМЕНЕНИЕ СУПЕРПРОВОДЯЩИХ КВАНТОВЫХ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ В МОРСКОЙ НАВИГАЦИИ

**Аннотация:** В данной статье рассматривается применение суперпроводящих квантовых интерференционных устройств (SQUID) в области морской навигации. В условиях современного судоходства, где точность и надежность навигации играют ключевую роль, использование SQUID может значительно повысить эффективность навигационных систем.

**Ключевые слова:** системы навигации, морская локация, навигация, инерциальные системы, спутники.

Современная морская навигация сталкивается с рядом сложных задач, связанных с необходимостью обеспечения высокой точности определения местоположения судов и их безопасного перемещения в условиях изменяющейся окружающей среды. Традиционные методы навигации, такие как GPS и инерциальные системы, имеют свои ограничения, включая уязвимость к помехам и необходимость постоянной калибровки.

Суперпроводящие квантовые интерференционные устройства (SQUID) представляют собой передовую технологию, способную значительно улучшить качество навигационных систем. Эти устройства работают на основе принципов квантовой механики и обладают уникальной способностью к обнаружению малейших изменений в магнитных полях, что делает их особенно полезными для морской навигации, где точность и надежность критически важны.

Суперпроводящие квантовые интерференционные устройства (SQUID) представляют собой высокочувствительные магнитометры, использующие квантовые эффекты в сверхпроводниках. Принципы их работы можно объяснить следующим образом: SQUID состоит из двух сверхпроводящих электродов, соединенных через тонкий изолятор, образующий Джозефсоновский переход. Существует два основных типа SQUID:

- микроскопические SQUID (с двумя Джозефсоновскими переходами);
- двухслойные SQUID (с несколькими переходами).

Эффект Джозефсона: когда через Джозефсоновский переход проходит ток, возникает эффект Джозефсона, который позволяет току течь без сопротивления. Этот эффект связан с квантовыми свойствами сверхпроводников и позволяет передавать суперпроводимость через изолятор.

Квантовая интерференция: в SQUID происходит интерференция между двумя состояниями тока, которые могут течь в противоположных направлениях. Эта интерференция зависит от разности фаз этих состояний, которая, в свою очередь, зависит от магнитного потока, проникающего через контур SQUID.

Чувствительность к магнитному полю: изменение магнитного поля приводит к изменению фазы волновых функций в устройстве. Это изменение фазы влияет на величину тока, проходящего через SQUID. В результате SQUID может обнаруживать очень малые изменения магнитного поля, что делает его одним из самых чувствительных магнитометров.



Таким образом, SQUID использует квантовые эффекты и принципы интерференции для достижения высокой чувствительности к магнитным полям. Это делает его важным инструментом в научных исследованиях и прикладных технологиях, обеспечивая точные измерения и анализ магнитных полей [1].

Суперпроводящие квантовые интерференционные устройства (SQUID) обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными навигационными системами, такими как инерциальные навигационные системы (INS) или системы глобального позиционирования (GPS). Вот некоторые из них:

1. Высокая чувствительность: SQUID являются одними из самых чувствительных магнитометров, способных обнаруживать очень слабые магнитные поля. Это позволяет им обеспечивать более точные измерения в условиях, где традиционные системы могут быть менее эффективны.

2. Независимость от внешних факторов: SQUID могут работать в условиях, где традиционные навигационные системы могут давать сбой, например, в подземных или подводных средах, где сигнал GPS недоступен. Они также менее подвержены влиянию атмосферных условий.

3. Минимальное энергетическое потребление: SQUID работают при очень низких температурах, что может быть преимуществом в некоторых приложениях, где критично низкое энергопотребление. Это позволяет использовать их в автономных системах.

4. Квантовая точность: благодаря квантовым эффектам SQUID могут обеспечивать более высокую точность измерений угловых изменений и магнитных полей. Это может быть полезно для точной навигации и ориентации.

5. Способность к интеграции: SQUID можно интегрировать в более сложные системы, такие как квантовые сенсоры или устройства для обнаружения изменений в магнитных полях, что может расширить их функциональность и область применения.

6. Применение в научных исследованиях: SQUID используются в научных исследованиях для изучения магнитных полей Земли и других планет, а также в астрофизике для изучения космических магнитных полей, что может предоставить информацию о навигации в космосе.

7. Низкая инерция: в отличие от традиционных инерциальных систем, которые могут иметь задержки в ответе на изменения положения, SQUID могут быстро реагировать на изменения магнитного поля, что улучшает общую реакцию системы.

Хотя SQUID не предназначены для замены традиционных навигационных систем в широком смысле, их уникальные преимущества делают их особенно полезными в специфических приложениях, требующих высокой чувствительности и точности измерений магнитных полей. В сочетании с другими технологиями они могут значительно улучшить навигационные возможности в сложных условиях [2].

Суперпроводящие квантовые интерференционные устройства (SQUID) находят применение в различных морских условиях благодаря своей высокой чувствительности и способности обнаруживать слабые магнитные поля. Вот несколько примеров их применения в морской среде:

1. Геофизические исследования: SQUID используются для изучения магнитных полей Земли и океанских течений. Они помогают в картировании геологических структур, определения месторождений полезных ископаемых и изучения магнитных аномалий на дне океана.

2. Навигация подводных аппаратов: SQUID могут быть использованы в системах навигации для подводных аппаратов, таких как автономные подводные аппараты (AUV). Их высокая чувствительность к магнитным полям позволяет точно определять местоположение и ориентацию подводных объектов, даже в условиях отсутствия GPS.



3. Обнаружение подводных объектов: SQUID могут применяться для обнаружения подводных объектов, таких как мины или затонувшие суда, благодаря их способности регистрировать изменения в магнитном поле, вызванные этими объектами.

4. Исследования океанографических процессов: SQUID могут использоваться для изучения динамики океанских течений и их влияния на климат. Они помогают в измерении изменений магнитного поля, связанных с движением водных масс.

5. Мониторинг морской среды: SQUID могут быть интегрированы в системы мониторинга для отслеживания изменений в магнитном поле, что может указывать на экологические изменения или присутствие загрязняющих веществ.

6. Исследования в области морской биологии: В некоторых случаях SQUID могут использоваться для изучения поведения морских организмов, таких как миграция рыб, путем анализа магнитных полей, которые могут влиять на их навигацию.

7. Картирование подводной инфраструктуры: SQUID могут помочь в картировании существующей подводной инфраструктуры, такой как трубопроводы и кабели, благодаря их способности обнаруживать изменения в магнитном поле, связанные с этими структурами.

Использование SQUID в морских условиях открывает новые возможности для научных исследований и практических приложений. Их высокая чувствительность и способность работать в сложных условиях делают их ценным инструментом для изучения и мониторинга морской среды [3].

Применение суперпроводящих квантовых интерференционных устройств (SQUID) в морской навигации открывает новые горизонты для повышения точности, надежности и безопасности судоходства. Эти высокочувствительные устройства обладают уникальными возможностями, позволяя обнаруживать слабые магнитные поля и обеспечивать альтернативные методы навигации в условиях, когда традиционные системы могут подводить. Интеграция SQUID с существующими навигационными технологиями может значительно улучшить управление судами, особенно в сложных и динамичных условиях.

Кроме того, SQUID могут сыграть ключевую роль в мониторинге окружающей морской среды и обеспечении устойчивого использования морских ресурсов. Их способность к точному измерению магнитных аномалий предоставляет новые инструменты для исследования и защиты морских экосистем. В итоге, внедрение суперпроводящих квантовых интерференционных устройств в морскую навигацию не только повысит эффективность судоходства, но и сделает его более безопасным и экологически устойчивым, что имеет огромное значение в условиях современного мира. С учетом дальнейших исследований и технологических разработок, можно ожидать, что SQUID станут важной частью будущих навигационных систем, способствуя инновациям в морской индустрии.

*Список литературы:*

1. Кузнецов, В. А. Суперпроводящие квантовые интерференционные устройства: принципы и применение. – М.: Радиотехника, 2012. – 140 с.
2. Петров, И. В. Современные методы навигации с использованием квантовых сенсоров. – М.: Радиотехника, 2018. – С. 90-103.
3. Лебедев, А. С. Применение суперпроводников в морской навигации. – М.: Радио и связь, 2019. – 40 с.

