

УТВЕРЖДАЮ

ВРИО директора Федерального  
государственного бюджетного учреждения науки  
Института радиотехники и электроники  
им. В.А.Котельникова Российской академии наук,  
д.ф.м.н., профессор/академик РАН

\_\_\_\_\_ / С.А. Никитов /

« 16 » февраля 2026 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук  
на диссертационную работу Скирдкова Петра Николаевича  
**«Спин-трансферный диодный эффект в магнитных туннельных переходах»**,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния  
(отрасль науки – физико-математические).

#### Актуальность и содержание работы

Представленная диссертационная работа посвящена актуальной и значимой для современной спинтроники и наноэлектроники теме – теоретическому исследованию спин-трансферного диодного эффекта (СТДЭ) в магнитных туннельных переходах (МТП). Целью работы являлось изучение фундаментальных механизмов влияния спиновых токов на динамику намагниченности и разработка моделей для создания высокочувствительных широкополосных спин-трансферных диодов (СТД). Актуальность темы не вызывает сомнений, учитывая перспективы применения подобных устройств в микроволновой технике, системах связи, сбора радиочастотной энергии и интернета вещей.

Работа является целостным теоретическим исследованием. Она состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 151 наименования и приложения. Объем работы – 112 страниц, включая 39 рисунков и 1 таблицу. В первой главе дан глубокий и систематизированный обзор современного состояния проблемы. Вторая глава посвящена

методологии, сочетающей аналитические методы (уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта, Тиля) и микромагнитное моделирование. В третьей главе предложены и исследованы новые конструкции СТД с рекордно высокими (порядка 9 ГГц) и низкими (порядка 400 МГц) резонансными частотами. Четвертая глава раскрывает физические механизмы широкополосного выпрямления, связанные с неколлинеарностью намагниченностей и неоднородными микромагнитными состояниями. В пятой главе детально изучено магнитостатически индуцированное легкоконусное состояние в МТП с перпендикулярной анизотропией, позволившее предсказать рекордные значения чувствительности.

### **Значимость полученных автором результатов для развития физико-математических наук**

Проведенное исследование вносит существенный вклад в развитие физики конденсированного состояния, в частности, в области спинтроники и наномагнетизма. Теоретические результаты, полученные Скирдковым П.Н., расширяют фундаментальные знания о динамике магнитных моментов в наноструктурах под действием спиновых токов. В работе впервые теоретически обоснованы и исследованы новые физические эффекты и построены новые теоретические модели:

- Предложен механизм настройки резонансной частоты СТД за счет использования двух мягко закрепленных ферромагнитных слоев с возможностью получения резонансных частот до 9 ГГц.
- Построена аналитическая модель и изучены динамические свойства вихревого СТД, позволяющего эффективно выпрямлять сигналы в субгигагерцовом диапазоне.
- Предложены и описаны два альтернативных механизма широкополосного выпрямления, основанные на неколлинеарности и неоднородности магнитных состояний.
- Теоретически продемонстрирована возможность магнитостатически индуцированного легкоконусного состояния и проанализировано его использование для достижения предельно высокой чувствительности пассивного СТД.

Эти результаты имеют высокую научную ценность и значимость и открывают новые направления для теоретических и экспериментальных исследований в области динамики намагниченности под действием спин-зависимого транспорта. С практической точки зрения значимость в первую очередь обусловлена возможностью создания детекторов сигнала и систем питания для маломощных датчиков в системах интернета вещей и биотехнологиях на основе полученных в диссертации результатов.

## **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации**

Результаты диссертационной работы Скирдкова П.Н. заслуживают внимания и могут быть использованы в следующих направлениях:

**В научно-исследовательской деятельности:** Разработанные теоретические модели и предсказанные эффекты могут служить основой для планирования и интерпретации экспериментов по созданию и изучению новых поколений спинтронных СВЧ-устройств в академических и отраслевых институтах.

**В опытно-конструкторских разработках:** Конкретные рекомендации по геометрии наноэлементов, выбору материалов, использованию тока смещения и методам настройки частоты могут быть применены при проектировании высокочувствительных детекторов и приемников миллиметрового и субгигагерцового диапазонов для телекоммуникационного оборудования, систем радиолокации и беспроводной передачи энергии.

**В образовательном процессе:** Материалы диссертации, посвященные современной спинтронике и методам микромагнитного моделирования, целесообразно использовать при подготовке учебных курсов и пособий для студентов и аспирантов физико-технических и радиоэлектронных специальностей.

## **Замечания и пожелания**

При безусловно положительной оценке работы, диссертационная работа не лишена некоторых недостатков. В результате можно сформулировать следующие замечания:

1. В диссертации рассматривается влияние постоянного тока смещения, однако анализ тепловых эффектов, которые могут возникать при высоких плотностях тока, представлен недостаточно. Более того в диссертации не рассмотрен вопрос влияния тепловых шумов на динамику намагниченности и выпрямление, что особенно актуально при очень малых мощностях входного переменного сигнала.
2. В рамках теоретической работы было бы полезно более детально обсудить возможные экспериментальные пути реализации предложенных конструкций СТД и ожидаемые технологические сложности. Также отдельного обсуждения заслуживает вопрос конкретных перспектив применения разработанных моделей СТД в реальных устройствах систем связи или сбора энергии.
3. Рекомендуем автору в будущих работах более подробно остановиться на вопросах схмотехнической реализации конечного устройства: согласование импеданса предлагаемых СТД со стандартными СВЧ-цепями, проработка требований к принимающей антенне и т.п.

4. Следовало бы использовать термин не «широкополосный выпрямитель», а выпрямитель с расширенным диапазоном рабочих частот, так как в любом случае выпрямитель является резонансным.
5. В тексте диссертации фигурирует выражение для чувствительности  $AP_{in}^{-1/3}$ , где  $P$  – входная мощность, а расшифровки коэффициента  $A$  не приведено.
6. В тексте диссертации присутствует ряд опечаток и стилистических неточностей (напр. стр.5,6 и т.д.).

Сделанные замечания, большинство из которых носит характер пожеланий для последующих исследований диссертанта, не могут существенным образом повлиять на общую, несомненно положительную, оценку рассматриваемой работы. В целом, диссертация выполнена на высоком научном уровне, логично структурирована, написана грамотным языком. Достоверность полученных результатов и обоснованность полученных выводов не вызывают сомнений. Основные результаты исследований, вошедшие в работу, опубликованы в 6 печатных работах в рецензируемых научных журналах из списка ВАК и в 1 обзорной работе, а также в 20 тезисах конференций, докладывались на многочисленных международных и российских научных конференциях, отражены в трех патентах. Полученные результаты оригинальны и вызывают безусловный научный и практический интерес.

#### **Заключение о соответствии диссертации установленным критериям**

Диссертация Скирдкова Петра Николаевича «Спин-трансферный диодный эффект в магнитных туннельных переходах» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком теоретическом уровне. Работа соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года (ред. от 16 октября 2024 г.), в части: научной новизны и самостоятельности исследования, актуальности и практической значимости полученных результатов, достоверности и обоснованности выводов, соответствия специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния и отрасли физико-математических наук.

На основании изложенного, считаем, что диссертационная работа Скирдкова Петра Николаевича заслуживает высокой оценки, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния.

Диссертация Скирдкова П.Н. была рассмотрена и обсуждена на заседании научно-квалификационного семинара Ученого совета Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук по направлению «Физика твердого тела, магнитных и акустических явлений». Присутствовало 17 чел. из 21 чел., входящих в состав семинара, которые постановили: одобрить проект отзыва и рекомендовать диссертационную работу Скирдкова П.Н. к защите. Результаты открытого голосования:

«за» – 17 чел, «против» – 0 чел, «воздержалось» – 0 чел. Протокол № 1 от «29» января 2026г.

Отзыв подготовили сотрудники Лаборатории магнитных явлений в микроэлектронике ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

**Заместитель председателя**

**научно-квалификационного семинара**

доктор физико-математических наук

(01.04.11. – Физика магнитных явлений),

ведущий научный сотрудник Лаборатории магнитных явлений в микроэлектронике ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН

Коледов Виктор Викторович

16.02.2026

**Секретарь**

**научно-квалификационного семинара**

кандидат физико-математических наук

(1.3.8. – Физика конденсированного состояния),

старший научный сотрудник Лаборатории магнитных явлений в микроэлектронике ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН

Каманцев Александр Павлович

16.02.2026

125009, г. Москва, ул. Моховая, 11, корп. 7, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН);

тел.: +7 (495) 629-35-06; E-mail: [victor\\_koledov@mail.ru](mailto:victor_koledov@mail.ru)

Подпись гр. *Коледов Виктор Викторович*  
удостоверяется  
*аб. шмаков*  
Подпись

16.02.2026

*Гедриш*