



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Федеральное государственное унитарное
предприятие «Российский Федеральный
Ядерный Центр – Всероссийский
научно-исследовательский институт
технической физики
имени академика Е.И. Забабахина»
(ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ
им. академ. Е.И. Забабахина»)

ул. Васильева, 13, г. Снежинск,
Челябинская область, 456770
факс: (351-46) 5-22-33, 5-55-66
тел: (351-46) 5-51-20, 5-43-67
E-mail: vniitf@vniitf.ru

ОКПО 07623974, ОГРН 1027401350932
ИНН 7423000572, КПП 785150001

УТВЕРЖДАЮ

и.о. Директор Российского Федерального
Ядерного Центра — Всероссийского
научно-исследовательского института
технической физики им. академ.
Е.И. Забабахина (ФГУП «РФЯЦ –
ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»)



М.Е. Железнов

«08» 06 2026 г.

08.06.2026 № 194-020-04/19002

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного унитарного предприятия «Российский
Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский
институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина»

на диссертационную работу

Спицына Романа Игоревича

«Исследование механизмов разрушения плазменной кильватерной волны с
помощью контроля потоков энергии в численном моделировании»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.3.18 — Физика пучков заряженных частиц и
ускорительная техника в диссертационный совет 24.1.162.02 на базе Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им.
Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

Актуальность исследования

Диссертационная работа Спицына Романа Игоревича посвящена изучению
механизмов разрушения и ограничения времени жизни плазменной кильватерной
волны с помощью метода контроля потоков энергии в численном моделировании.

Актуальность работы обусловлена важностью определения времени жизни
плазменной волны как одного из ключевых параметров в процессах кильватерного

ускорения электронов плазмы. Это время жизни определяет и область, в которой может размещаться ускоряемый пучок частиц позади создавшего волну драйвера, и величину энергии, до которой этот пучок может быть ускорен. В этой связи изучение механизмов разрушения плазменной волны является важным практическим вопросом.

Научная новизна работы

Разработан новый метод численного моделирования для определения времени жизни плазменной волны в задачах кильватерного ускорения электронов плазмы. Работоспособность метода продемонстрирована на двух практически важных задачах.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, трёх глав и заключения. Полный объём диссертации составляет 89 страниц, включая 30 рисунков и 4 таблицы. Список литературы содержит 44 наименования.

Во введении обосновывается актуальность и выбор темы диссертации, поставлена цель и определены задачи работы, описаны методы исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также обоснована достоверность полученных результатов. Приведена информация об апробации результатов работы, публикациях и личном вкладе автора.

Первая глава посвящена описанию инструментов численного моделирования, с помощью которого проводились исследования. Рассмотрены принципы работы программного комплекса LCODE, в частности подробно изложен разработанный автором алгоритм численного решения уравнения эволюции лазерного импульса в плазме. Описан метод контроля потоков энергии, позволяющий моделировать процесс переноса энергии в области счёта.

Вторая глава посвящена применению метода контроля потоков энергии к задаче по опрокидыванию плазменной волны, вызванному движением ионов плазмы. Было проведено численное моделирование и получены количественные оценки времени жизни плазменной волны применительно к задаче по генерации терагерцового излучения в плазменных волнах встречных лазерных импульсов. Кроме того, с помощью численного моделирования и применения метода контроля потоков энергии исследована зависимость времени жизни плазменной волны от массы ионов плазмы.

Третья глава посвящена применению метода контроля потоков энергии к изучению механизма разрушения плазменной волны со слабой нелинейностью электронным гауло в эксперименте AWAKE в ЦЕРН. Анализ результатов численного моделирования энергообмена между плазменной волной и электронным гауло показал, что плазменная волна, созданная узким протонным драйвером, разрушается первыми электронами гауло, возвращающимися в плазму.

В заключении представлены основные результаты и выводы работы.

Наиболее значимые результаты, полученные автором работы

Разработан алгоритм, встроенный в программный комплекс LCODE, который позволяет описывать эволюцию лазерного импульса в плазме и моделировать долговременную динамику лазерного импульса с сохранением энергобаланса системы с требуемой точностью.

На основе численного моделирования подтвержден теоретический вывод о том, что при ограничении времени жизни плазменной волны, вызванном движением ионов плазмы, время жизни волны пропорционально кубическому корню отношения массы иона плазмы к его заряду.

Установлено, что при низкой плотности плазмы, характерной для эксперимента AWAKE, плазменная волна, созданная узким протонным драйвером, разрушается за счёт отбора энергии волны первыми возвратными электронами гало с относительно небольшой энергией, перенаправляемыми полями плазменной волны в область её ускоряющей фазы.

Научная и практическая значимость результатов

Автор диссертационной работы с помощью разработанного метода численного моделирования обнаружил и исследовал эффекты, учет которых необходим для получения контролируемого ускорения частиц с малым энергоразбросом применительно к экспериментам по плазменному кильватерному ускорению. Использование такого метода при массовых оптимизационных расчётах даёт возможность подтвердить правильность выбранных параметров эксперимента.

Наряду с изученными механизмами разрушения плазменной волны, предложенный метод контроля потоков энергии в численном моделировании позволяет определять время её жизни. Полученные результаты могут быть использованы при планировании экспериментов по плазменному кильватерному ускорению.

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность полученных результатов обеспечивается согласием результатов численного моделирования с динамикой процессов, наблюдаемых в эксперименте. Материалы диссертационного исследования были представлены в виде докладов на всероссийских и международных конференциях. Основные результаты диссертации опубликованы в 7-ми научных статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, что также является показателем их достоверности.

Личный вклад автора

Все результаты, на основе которых сформулированы положения, выносимые на защиту, и сделаны основные выводы диссертационной работы, получены автором лично, его вклад в работы по теме диссертации является определяющим.

По работе имеются следующие замечания

Из немногочисленных недостатков работы можно отметить:

- отсутствие в тексте самой диссертации сравнительного тайминга по счёту характерных задач, что не позволяет объективно воспринять аргументы о быстродействии кода;
- ввиду того, что на защиту вынесен метод контроля потоков энергии для определения времени жизни плазменной волны, представляется недостаточно подробным его описание как инструмента численного моделирования.

Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не снижают ценности полученных в ней результатов.

Заключение

Диссертация Спицына Романа Игоревича представляет собой законченную научную работу, направленную на развитие и использование инструментов численного моделирования при изучении процессов плазменного кильватерного ускорения. Все результаты, на основе которых сформулированы выводы диссертации, получены автором лично. Автореферат полностью отражает тему и основные положения диссертации. Содержание диссертационной работы соответствует специальности 1.3.18. — Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника в направлении исследований «Расчётно-теоретические и экспериментальные исследования взаимодействий пучков заряженных частиц с электромагнитными полями, друг с другом, с молекулами остаточного газа и мишенями» (п.7 паспорта научной специальности). Материалы диссертации опубликованы в ведущих научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ, доложены на международных и российских конференциях. Основные публикации автора по теме работы корректно и полно отражают содержание диссертации и ее основные результаты.


По актуальности, новизне, научной и практической значимости диссертация Спицына Романа Игоревича «Исследование механизмов разрушения плазменной кильватерной волны с помощью контроля потоков энергии в численном моделировании» соответствует требованиям и критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Спицын Роман Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Диссертация Спицына Романа Игоревича и отзыв на неё обсуждены и одобрены на заседании научно-технического совета (НТС) Научно-теоретического отделения №2 (НТО-2) Федерального государственного унитарного предприятия «Российский Федеральный Ядерный Центр — Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. академ. Е.И. Забабахина

(ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»)), 456770, Снежинск, Челябинская область, ул. Васильева, 13, тел. +7 (35146) 5-25-93, эл. почта: vniitf@vniitf.ru, сайт: https://vniitf.ru; протокол № 325 от 08.06.2026.

Отзыв составил:

ведущий научный сотрудник НТО-2
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина,
кандидат физико-математических наук,
тел. +7 35146 54730
e-mail: g.v.baydin@vniitf.ru


Байдин Григорий Васильевич
08.06.2026 г.

Председатель НТС НТО-2
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина,
доктор физико-математических наук.
тел. +7 35146 54730
e-mail: a.a.bragin@vniitf.ru


Брагин Алексей Анатольевич
08.06.2026 г.

Секретарь НТС НТО-2
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»,
кандидат физико-математических наук,
тел. +7 35146 54730
e-mail: d.n.bokov@vniitf.ru


Боков Дмитрий Николаевич
08.06.2026 г.

Подписи Г.В. Байдина, А.А. Брагина и Д.Н. Бокова заверяю:
Учёный секретарь диссертационного совета Д 74.1.005.01
при ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»,
доктор физико-математических наук,
тел. +7 35146 56363
e-mail: p.a.loboda@vniitf.ru


Лобода Петр Анатольевич
08.06.2026 г.

