

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОФИЗИКИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПРИ УЧАСТИИ ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 99.1.044.02, созданного на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института  
теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук при  
участии Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Объединенного института высоких температур Российской академии наук  
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 6)  
от 22 декабря 2022г. (протокол № 7)

Защита диссертации Ефанова Михаила Владимировича  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
« Разработка и исследование сверхмощных твердотельных нано-  
и пикосекундных генераторов и их применение»  
Специальность 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки

## СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 99.1.044.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук при участии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук

Протокол № 7 от 22 декабря 2022 г.

Диссертационный совет 99.1.044.02 утвержден Приказом Министерства науки и высшего образования РФ № 411/нк от 10.05.2017г. в составе 20 человек. На заседании присутствуют 16 человек, из них 16 докторов наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки. Кворум имеется.

Председатель - председатель диссертационного совета 99.1.044.02 академик Лагарьков А.Н.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета 99.1.044.02 д.ф.-м.н. Дорофеенко А.В.

<b>Фамилия, И.О.</b>	<b>Учёная степень, шифр специальности в совете</b>	<b>Присутствие</b>
1 Лагарьков А.Н.	академик РАН (1.3.13)	Очное присутствие
2 Амиров Р.Х.	д.ф.-м.н., ст.н.с. (1.3.13)	Отсутствует
3 Дорофеенко А.В.	д.ф.-м.н., доцент (1.3.13)	Очное присутствие
4 Батенин В.М.	член-корр. РАН, профессор (1.3.13)	Очное присутствие
5 Василяк Л.М.	д.ф.-м.н., профессор (1.3.13)	Очное присутствие
6 Виноградов А.П.	д.ф.-м.н., профессор (1.3.13)	Очное присутствие
7 Гавриков А.В.	д.ф.-м.н., доцент (1.3.13)	Удаленное подключение
8 Гиппиус Н.А.	д.ф.-м.н. (1.3.13)	Отсутствует
9 Деньщиков К.К.	д.т.н. (1.3.13)	Отсутствует
10 Жук А.З.	д.т.н., профессор (1.3.13)	Очное присутствие
11 Зейгарник В.А.	д.т.н., ст.н.с. (1.3.13)	Очное присутствие
12 Кисель В.Н.	д.ф.-м.н., доцент (1.3.13)	Очное присутствие
13 Мерзликин А.М.	д.ф.-м.н. (1.3.13)	Очное присутствие
14 Парфенов Ю.В.	д.т.н., ст.н.с. (1.3.13)	Очное присутствие
15 Пухов А.А.	д.ф.-м.н., профессор (1.3.13)	Очное присутствие
16 Рахманов А.Л.	д.ф.-м.н., профессор (1.3.13)	Очное присутствие
17 Рожков А.В.	д.ф.-м.н. (1.3.13)	Удалённое подключение
18 Розанов К.Н.	д.ф.-м.н. (1.3.13)	Очное присутствие
19 Сон Э.Е.	академик РАН (1.3.13)	Отсутствует
20 Сарычев А.К.	д.ф.-м.н. (1.3.13)	Очное присутствие

---

## ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации и.о. младшего научного сотрудника лаборатории № 4 – мощных электромагнитных воздействий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) Ефанова Михаила Владимировича на тему «Разработка и исследование сверхмощных твердотельных нано - пикосекундных генераторов и их применение». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки. Диссертация выполнена в лаборатории №4 – мощных электромагнитных воздействий ОИВТ РАН (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, [jiht.ru](http://jiht.ru)).

Научный руководитель:

Лебедев Евгений Федорович, д.т.н., главный научный сотрудник лаборатории № 4 – мощных электромагнитных воздействий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

Официальные оппоненты:

- Воршевский Александр Алексеевич, доктор технических наук, доцент кафедры электротехники и электрооборудования судов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Санкт-петербургский государственный морской технический университет.

- Вдовин Владимир Александрович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН.

Ведущая организация

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (г. Саров).

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.т.н. Воршевский А.А. (по видеосвязи), к.ф.-м.н. Вдовин В.А. и научный руководитель Ефанова М.В. д.т.н. Лебедев Е.Ф.

## СТЕНОГРАММА

### Председатель

Переходим ко второму вопросу повестки Это защита диссертации Ефановым Михаилом Владимировичем на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Разработка и исследование сверхмощных твердотельных нано- и пикосекундных генераторов и их применение» по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки. Слово предоставляется ученому секретарю Совета.

### Ученый секретарь

*(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования РФ).*

### Председатель

Есть вопросы? Вопросов нет. Слово предоставляется Ефанову Михаилу Владимировичу для доклада.

### Ефанов М.В.

*Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Ефанова М.В. прилагается).*

### Председатель

Спасибо, Михаил Владимирович. Вопросы к соискателю? Пожалуйста, Владимир Альбертович.

### Зейгарник В.А.

У меня вопрос по последнему результату. Скажите, пожалуйста, в чем причина расхождения в расчетных и экспериментальных результатах? Что, по Вашему мнению, в теории не так, не соответствует условиям эксперимента?

### Ефанов М.В.

Последний результат был изложен в пятой главе, где рассматривается отсутствие уширения импульсов при прохождении излучения в атмосфере. Но заданный вопрос, на мой взгляд, быстрее к теории. Наша задача была провести прямой эксперимент и зафиксировать результат, чтобы проверить и верифицировать предыдущие результаты. По моему личному мнению, это связано, прежде всего, с погодными условиями. В теоретической работе рассматривается поглощение излучения на парах воды в дожде, в тумане. Наш эксперимент проводился при относительно высокой влажности рано утром. Но мне сложно судить о этом количественно, я не знаю какие результаты должны были быть в этих условиях. Мне кажется, это вопрос для дальнейшего теоретического исследования. Главный практический результат в том, что подобный импульс с такими длительностями уже можно использовать на расстояниях 10-20 км в возможных перспективных разработках систем связи, локации и т.п. и теоретических препятствий для этого нет.

### Батенин В.М.

Скажите, пожалуйста, новое поколение рассматриваемых ключей является основой для создания ваших генераторов. Скажите, кто выпускает эти ключи? Это первый вопрос. И второй: даже при такой сверхмалой длительности, но такой высокой частоте следования 15 МГц, в генераторах энерговыделение тоже высокое. Какова их система охлаждения? Спасибо.

### **Ефанов М.В.**

Спасибо за вопрос. В настоящее время есть два параллельных направления развития подобных приборов, т.е. размыкающих ключей – ДДРВ-ключи и SOS-приборы. Первые на самом деле выпускают многие организации, в том числе и компания, в которой я работаю. SOS-диоды – это тоже размыкающий ключ, но другого класса с более высокой плотностью тока и, на наш взгляд разработчика, с меньшей эффективностью. Тем не менее это параллельный путь разработки, мало пересекаемый с ДДРВ, потому, что используется в других областях техники.

Что касается вопроса о 15 МГц и тепловыделении я покажу вам еще раз иллюстрацию с разработанным у нас генератором. На представленной на ней схеме неспроста используются четыре канала. Данная разработка предназначена для создания в эфире (свободном пространстве) электрического поля большой амплитуды. Именно из-за высокого тепловыделения нам пришлось разбить каждый канал излучения на четыре подканала и складывать импульсную мощность в дальней зоне посредством программируемых задержек сигналов излучения. В этом генераторе при частоте следования импульсов 15 МГц и выходном напряжении 600 В на каждом канале выделялась тепловая мощность на уровне 50 Вт. Была организована воздушная система охлаждения. Выходной прибор-ключ с малой площадью расплаивался на медное основание и через термопасту прикреплялся на общий радиатор, обдуваемый интенсивно воздухом для съема тепла. Если бы попытались построить генератор на одном канале, чтобы сразу на выходе получить 1.5-2 кВ (даже 1 кВ) напряжения, то мы столкнулись бы с гораздо более серьезными проблемами охлаждения.

ДДРВ-ключ – это набор (столбик) плоских таблеток, уложенных друг на друга. Чем больше требуемое напряжение, тем выше столб. Такую конструкцию сложно охлаждать даже при помощи хорошо теплопроводящей подложки. Поэтому приходится разбивать столб на несколько каналов, чтобы увеличить поверхность теплосъема. .

### **Председатель**

У меня к Вам два вопроса. Обратимся, пожалуйста, к предпоследней странице Вашего доклада. В эксперименте, который Вы провели с помощью двух воздушных шаров, Вы проверяли расплывание импульса в идеальных погодных условиях, ибо в противном случае, Вы бы не поднялись на воздушных шарах. У Вас не было ни турбулентности атмосферы, ни перемещений, ни перемещения. А дальше Вы делаете вывод: «в частности, отсутствие деформации формы импульсов дает практическую возможность по прохождению импульса излучения слоя ионосферы с высоты 300 км». Ионосфера – это, простите, электроны. А электроны при действии электромагнитных импульсов взаимодействуют с полем, соответственно, и там сразу начнется другое поведение. Там сразу возникнет куча неприятностей. Если Вы напишите соответствующие уравнения, то увидите, что там состоялось и расплывание, и сильное взаимодействие и т.д. Почему Вы написали, что Ваш эксперимент дает надежду? То, что Вы в идеальных условиях получили отсутствие расплывания импульса совсем необязательно применимо к ионосфере.

### **Ефанов М.В.**

Именно потому, что есть надежда. На самом деле, ионосфера, и здесь я с вами абсолютно согласен, обладает свойствами разреженной плазмы. Там могут быть и будут отражения, но вопрос стоит о количественном исследовании.

### **Председатель**

На самом деле это лучше сформулировать так: хорошо бы попробовать.

**Ефанов М.В.**

Да, именно: хорошо бы попробовать.

**Батенин В.М**

Там плазменные частоты, это очень важно.

**Председатель**

Конечно, конечно. Поэтому я не согласен с этим утверждением соискателя. Но это мелкое замечание. А теперь скажите по существу. Скажите, пожалуйста, вот разработано очень много разных приборов. Какие из них в настоящее время используются в промышленности или нет?

**Ефанов М.В.**

Простите, можно уточнить? Речь идет только о промышленности? Или о научной сфере тоже?

**Председатель**

Это неважно, важно, что используется.

**Ефанов М.В.**

В первую очередь в индустрии используются наши высокочастотные генераторы. Это генераторы прямоугольных импульсов в ускорительной технике – различного рода отклоняющие системы. Тот генератор, который Вы видите на иллюстрации, используется на ускорителе DESY - это самый большой в Германии исследовательский центр по физике частиц.

**Председатель**

В России где?

**Ефанов М.В.**

Сейчас мы участвуем в большом проекте. Наш генератор используется в Новосибирском институте ядерной физики для питания линейных ускорителей.

**Председатель**

Спасибо. Хорошо. Еще есть вопросы? Если нет, тогда следующим пунктом мы заслушаем мнение руководителя. Евгений Федорович, пожалуйста.

**Лебедев Е.Ф.**

*(выступление не стенографируется, положительный отзыв научного руководителя д.т.н. Лебедева Е.Ф. имеется в аттестационном деле)*

**Председатель**

Спасибо, Евгений Федорович. Я думаю, что тут вопросов у совета не возникает. Александр Викторович, пожалуйста, отзыв организации, где была выполнена работа.

**Ученый секретарь**

Работа была выполнена в Объединенном институте высоких температур РАН. Диссертация рассмотрена на заседании лаборатории № 4. Отзыв положительный. В деле есть удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов. В отзыве отмечено, что все результаты получены автором лично либо совместно с сотрудниками лаборатории при его непосредственном участии. Подтверждается новизна и достоверность результатов и в итоге диссертация рекомендуется к защите.

На диссертацию представлены два акта внедрения.

На диссертацию пришел также отзыв от ведущей организации РФЯЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт ядерной физики», подписанный директором Научно-технического центра физики член-корреспондентом Селемиром В.Д и сотрудниками центра Ждановым В.С. и Садовым С.А. Отзыв положительный, утвержден и.о. директора ВНИИЭФ Мусиным И.Д. Отзыв содержит два замечания.

Первое – отсутствуют подписи к некоторым рисункам, а половина рисунков не имеет названий.

Второе замечание – первые четыре главы диссертации хорошо и полно демонстрируют названию диссертации и искомой степени кандидата технических наук. Пятая глава диссертации сильно выделяется и больше соответствует диссертации кандидата физико-математических наук.

Тем не менее, все перечисленные замечания носят рекомендательный характер, а диссертация Ефанова М.В. полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям кандидата технических наук.

Также поступило два отзыва на автореферат.

Первый отзыв – от Института прикладной физики РАН из Нижнего-Новгорода составлен заведующим лабораторией Гуциным М. Е. Отзыв положительный, содержит замечание – низкий уровень печати осциллограмм

Это замечание не снижает общего высокого уровня работы. Разработанные автором диссертации приборы используются в фундаментальных и прикладных исследованиях мирового уровня.

Второй отзыв поступил от Центра радиоэлектронной борьбы.(г. Москва). Отзыв составлен руководителем группы советников Центра Мамаевым. Отзыв положительный, содержит три замечания.

Первое – недостаточно аргументировано исключение из рассмотрения приборов на основе SOS коммутаторов.

Второе – недостаточно аргументирована достоверность полученных результатов.

Третье - в автореферате имеются нечитаемые два рисунка. Эти замечания не снижают в целом положительного мнения о практической значимости этой работы. По отзывам информация закончена.

### **Председатель**

Михаил Владимирович, Вам предоставляется слово для ответа на замечания.

### **Ефанов М.В.**

На замечания по оформлению. С замечаниями согласен, действительно, не все графические изображения хорошо читаются при цветной типографской печати. Первые четыре главы действительно посвящены научно-техническим вопросам, пятая глава содержит фундаментальное экспериментальное исследование. С моей стороны не предполагалось проведение анализа теоретического рассмотрения прохождения СШП-импульсов в атмосфере. На этом этапе был нужен экспериментальный результат. Замечание от второго оппонента по оформлению также принимается. Есть замечание по математическим моделям. И что в постановочной части недостаточно аргументировано отсутствие рассмотрения SOS – приборов. Действительно, подробно не проведено сравнение этих разработок. По сути можно сказать, что мы как разработчики ДДРВ – приборов применяем, конечно, их, но если сравнивать эффективность, следует сказать, что они отличаются режимами работы. SOS – диоды имеют значительно большие плотности импульсных токов, но, как следствие, имеют значительно большие падения напряжения на них и большие потери. Мы предпочитаем использовать свои разработки с меньшими плотностями токов, но с меньшими потерями. Для получения больших токов мы включаем наши приборы в параллель. Замечание про достоверность. Мы использовали

поверенные приборы, серийно выпускаемые осциллографы и делители. Благодарю за полезные замечания.

**Председатель**

Слово предоставляется официальному оппоненту доктору технических наук Воршевскому Александру Алексеевичу.

**Воршевский А.А.**

*(выступление не стенографируется, положительный отзыв официального оппонента Ворошевского А.А. имеется в аттестационном деле)*

**Председатель:**

Спасибо большое, Александр Алексеевич. Я думаю, что Михаил Владимирович сейчас ответит на поставленные оппонентом вопросы.

**Ефанов М.В.**

Действительно, в диссертации не приведены использованные математические модели, хотя такие модели существуют и я лично участвовал в разработке таких моделей и в изучении теоретических проблем переключения токов, просто в данной работе математическое рассмотрение процессов не затрагивалось. Такие модели существуют, они основаны на уравнениях электродинамики и механики сплошной среды, используют уравнения переноса электронно-дырочной плазмы, рекомбинации носителей. Это целая большая область физики плазмы. Второе замечание связано с сертификацией приборов. Замечание справедливо. Мы использовали поверенные и сертифицированные Росрестром приборы. Следующее замечание связано с отсутствием в диссертации объяснения различия в данных расчета и эксперимента при прохождении СШП-импульсов в атмосфере. Эта причина пока неизвестна и должна быть решена в последующих исследованиях. С остальными замечаниями оппонента согласен.

**Председатель**

Слово предоставляется официальному оппоненту Вдовину Владимиру Александровичу.

**Вдовин В.А.**

*(выступление не стенографируется, положительный отзыв официального оппонента Вдовина В.А. имеется в аттестационном деле)*

**Председатель**

Спасибо, Владимир Александрович. Сейчас Михаил Владимирович ответит на поставленные оппонентом вопросы.

**Ефанов М.В.**

Начну с первого вопроса. Замечание по оформлению справедливо. Второе замечание об упущении некоторых сведений, связанное с краткостью изложения (выбор охлаждающей жидкости и параметров ключей). По выбору ключей, позвольте изложить подробнее. Мы строим генераторы на двух типах ключей размыкающие и замыкающие. Для каждого генератора нужно выбрать оптимальные параметры этих ключей. Я не стал это подробно описывать в диссертации, тем более что по замыкающим ключам есть широкий выбор. Третье замечание – о джиттере. В диссертации не сказано, почему появляется джиттер потому, что это еще не исследовано. Результаты по переключению за 40 пс появились буквально несколько месяцев назад. Можно сказать о цифрах – результат джиттера 1,5 нс зафиксирован, но на него влияют множество факторов, не только сам переключающий прибор, но и системы запуска, синхронизации и даже питания. Это отдельная работа, которая должна быть проведена. Однако, нулевой джиттер вряд ли достигим. Четвертое

замечание связано с рисунками главы 5, Кажущееся расширение спектра связано с разными развертками на этих рисунках.

**Председатель**

Спасибо. Итак, ответы даны и нам предстоит дискуссия. Кто хочет выступить? Пожалуйста, Юрий Васильевич.

**Парфенов Ю.В.**

Наша лаборатория давно сотрудничает с организацией, в которой работает Михаил Владимирович. Мы хорошо знаем работы, которые проводит Михаил Владимирович. Поэтому вполне обосновано наше утверждение, что эти разработки имеют колоссальное значение. Без преувеличения научное и практическое значение. Я бы выделил три проблемы, которые мы с коллегами решили с помощью разработанных приборов Во-первых. Нужно было сформировать короткий и очень мощный импульс. Во-вторых, нужно сформировать его с повторением с очень высокой частотой. Это тоже огромное достижение. И в третьих, я бы особенно выделил это, нужно разработать систему синхронизации сверхкоротких и сверхмощных наносекундных импульсов. Представьте себе такой импульс, излучаемый десятком генераторов. Диссертанту удалось их синхронизовать, в результате возникла задача посмотреть, как распространяется такой импульс на расстояниях десятки километров и на больших высотах. Так вот диссертанту удалось показать, что зависимость от времени таких импульсов сохраняется на таких дистанциях. В заключение я хочу сказать, что мне представляется, что уровень и значимость этой работы далеко выходит за уровень требований, предъявляемых к кандидатской работе.

**Председатель**

Ещё кто-нибудь желает выступить? Пожалуйста.

**Василяк Л.М.**

Я хотел бы также поддержать эту работу. Мы впервые узнали об этой работе, когда занимались волнами ионизации и для нас было совсем неожиданным, когда точно такое же явление обнаружили Грехов и Кардо-Сысоев, а вот как раз усилиями Ефанова – старшего (Владимира) впервые стало применяться обнаруженное явление. А сегодня мы видим, насколько далеко можно продвинуть эту технологию, если ей постоянно заниматься. Мы видим генератор на 500 кВ с частотой переключений сотни раз в секунду, это просто фантастика как часто такой импульс перескакивает от коммутатора к нагрузке и любое рассогласование перегревает эти элементы. Мне кажется, что эта передовая технология, которая создана у нас в стране и во многом благодаря работе Михаила Владимировича, который у нас сегодня защищается с несомненно замечательной работой и будет правильно, если мы поддержим присуждение ему искомой степени.

**Председатель**

Спасибо. Коллеги! Я думаю, что работа Михаила Владимировича прекрасная и её следует поддержать. Коллеги, если у кого-нибудь есть что сказать ещё, пожалуйста. Итак, есть желающие? Нет? Перед голосованием нужно дать последнее слово соискателю.

**Ефанов М.В.**

Спасибо большое всем за то, что Вы меня выслушали. Безусловно, я хотел бы поблагодарить моего руководителя Лебедева Евгения Федоровича и коллектив лаборатории – всем, кто помогал мне. Поблагодарить сотрудников ВНИИОФИ за предоставленное оборудование. И я хотел бы сказать, что техника наносекундных импульсов развивается и за двадцать лет, когда я начинал работать, она получила большое

развитие и через двадцать лет можно будет отметить, что она получит ещё большое развитие, как и вся наука и техника. Спасибо.

**Председатель**

Спасибо большое. Коллеги, теперь прошу голосовать

**Учёный секретарь:**

Коллеги! Заседание проходит в комбинированном очно-дистанционном режиме, голосование проводится с использованием телекоммуникационным систем. То есть все присутствующие члены диссовета входят под своим логином и паролем на сайт ОИВТ РАН (jih.ru), в раздел Научная деятельность – диссертационные совета – голосование совета 99.1.044.02.

Просьба к тем, кто заранее не авторизовался на сайте с помощью телефона, проследовать в центр зала и проголосовать с помощью компьютера.

*(Проводится процедура голосования на сайте ОИВТ РАН)*

**Ученый секретарь**

Уважаемые члены Совета! Позвольте огласить протокол заседания комиссии. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 20 человек. Дополнительно введены члены совета – нет. Присутствовало на заседании 16 членов совета, в том числе, докторов наук по профилю рассматриваемой специальности – 16, из них очно 14 и 2 онлайн. Проголосовали все - за, против - нет, недействительных - нет.

**Председатель**

Спасибо. Мы должны утвердить итоги голосования, а потом поздравить диссертанта аплодисментами. Кто за? Против нет? Воздержавшихся нет?

Спасибо большое, теперь поздравляем диссертанта.

Переходим к обсуждению проекта заключения. Есть замечания, пожелания?

*(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения).*

Если больше нет желающих обсуждать проект, тогда мы должны его проголосовать с теми замечаниями, которые были высказаны. Кто за заключение с замечаниями, которые были указаны? Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Спасибо, принято единогласно.

*(Проект заключения принят единогласно).*

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.1.044.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ  
ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ РАН при  
участии ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 22.12. 2022 г. № 7

О присуждении Ефанову Михаилу Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование сверхмощных твердотельных пиконаносекундных генераторов и их применение» по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки; принята к защите 20.10.2022г., (протокол заседания № 5)

диссертационным советом 99.1.044.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики РАН при участии Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 6, (495) 484-2383, itae.ru), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 411/нк от 15.05.2017г.

Соискатель Ефанов Михаил Владимирович 1980 года рождения в 2003 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет.

Работает в должности и.о. младшего научного сотрудника лаборатории № 4 – мощных электромагнитных воздействий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

В 2022 году окончил заочную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории № 4 – мощных электромагнитных воздействий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории № 4 – мощных электромагнитных воздействий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук Лебедев Евгений Федорович.

Официальные оппоненты:

- Воршевский Александр Алексеевич, доктор технических наук, доцент кафедры электротехники и электрооборудования судов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Санкт-петербургский государственный морской технический университет.

- Вдовин Владимир Александрович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН..

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (г.Саров) в своем положительном заключении, составленном директором научно-технического центра физики высоких плотностей энергии и направленных потоков излучений член-корреспондентом РАН Селемиром В.Д. и начальником научно-исследовательского отделения Жлановым В.С. (утвержденным и.о. директора ВНИИЭФ доктором технических наук Мусиным И.З.) указала, что научная значимость работы определяется новизной полученных результатов. Созданы уникальные приборы с нано-пикосекундными длительностями фронтов генерируемых токов. Актуальность выполненных в диссертации исследований и разработок определяется востребованностью уникального набора параметров разработанных генераторов высоковольтных импульсов. Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях, разрабатывающих лазеры, ускорители и излучатели СШП-сигналов.

Апробация результатов, представленных в диссертации, проводилась на рабочих совещаниях организаций, использующих созданные изделия: для запитки лазеров - ВНИИИЭФ; для ускорительной техники - ИЯФ СО РАН; - для питания СШП-излучателей - МНИРТИ, ОИВТ РАН, ВНИИОФИ

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе 8 статей в ведущих рецензированных журналах и других изданиях, включенных в перечень ВАК и 8 патентов.

1. Fedorov V. M., Efanov M. V., Ostashev V. Ye., Tarakanov V. P. and Ul'yanov A. V. Antenna Array with TEM-Horn for Radiation of High-Power Ultra Short Electromagnetic Pulses // Electronics. Vol. 11, Issue 9, 1011.( 2021). <https://doi.org/10.3390/electronics10091011>.
2. Kolykhalova E. D., Dudelev V. V., Zazulin S. V., Losev S. N., Deryagin A. G., Kuchinskii V. I., Efanov M. V., Sokolovskii G. S. Generation of high-power ultrashort optical pulses using a semiconductor laser with controlled current humping // Technical Physics volume 62, pages 1885–1888 (2017). <https://doi.org/10.1134/S1063784217120131>.
3. Dudelev V. V., Zazulin S. V., Kolykhalova E. D., Losev S. N., Deryagin A. G., Kuchinskii V. I., Efanov M. V., Sokolovskii G. S. Generation of high-power ultrashort optical pulses by semiconductor lasers // Technical Physics Letters volume 42, pages 1159–1162 (2016). <https://doi.org/10.1134/S1063785016120191>.
4. Ефанов М.В., Лебедев Е.Ф., Ульянов А.В., Федоров В.М., Шурупов М.А. Излучательно-измерительный комплекс для исследования прохождения сверхширокополосных сигналов в атмосфере и ионосфере Земли // Теплофизика высоких температур. 2001, том 59, №6, с. 877-884.
5. Великанов С.Д., Гаранин С.Г., Домажиров А.П., Ефанов В.М., Ефанов М.В., Казанцев С.Ю., Кодола Б.Е., Комаров Ю.Н., Кононов И.Г., Подлесных С. В., Сивачев А.А., Фирсов К. Н., Щуров В.В., Ярин П.М. Мощный электроразрядный HF-лазер с твердотельным генератором накачки // Квантовая электроника, Т. 40 № 5, 2010. Сс. 393-396.
6. V.M. Efanov, M.V. Efanov, A.V. Komashko, A.V. Kriklenko, P.M. Yarin, S.V. Zazoulin, High-Voltage and High-PRF FID Pulse Generators. // Ultra-Wideband, Short Pulse Electromagnetics 9, 2010.
7. V.M. Efanov, M.V. Efanov, A.S. Arbuzov, A.V. Kriklenko, N.K. Savastianov. Megavolt all-solid-state FID pulse generators for accelerator applications. // 2007 IEEE 34th International Conference on Plasma Science (ICOPS).
8. Пат. 2580787, Российская Федерация, МПК H03K 3/53, генератор мощных наносекундных импульсов (варианты). // Ефанов М.В., Зазулин С.В., Краснов А.В. Заявка 2015104632/08 2015.02.11.
9. Ефанов М.В., Ефанов В.М., Краснов А.В. Генератор высоковольтных импульсов // Патент на изобретение № RU2636108C1 с приоритетом от 14.02.2017 г.
10. Ефанов М.В., Зазулин С.В., Краснов А.В. Генератор мощных наносекундных импульсов (варианты) // Патент на изобретение № RU2580787C1 с приоритетом от 11.02.2015 г.
11. Мырова Л.О., Фомина И.А., Пименов П. Н., Панкина Е.Г., Минченко Т.В., Ефанов М.В., Киричек Р.В. Многоканальный комплекс воздействия сверхкороткоимпульсного электромагнитного излучения с высокой частотой повторения на наземные широкополосные линии радиосвязи // Патент на изобретение № RU2579986C1 с приоритетом от 05.02.2015 г.
12. Ефанов В.М., Ефанов М.В. Генератор импульсов // Патент на изобретение № RU 2589240 C1 с приоритетом от 20.04.2015 г.
13. Ефанов М.В., Краснов А.В. Система стабилизации задержки// Патент на изобретение № RU2580445C1, приоритет от 31.12.2014 г.
14. Ефанов В.М., Ефанов М.В. Способ управления электронным ключом // Патент на изобретение № RU 2533326C1 с приоритетом от 22.04.2013 г.

15. Ефанов В.М., Ефанов М.В. Ускоритель // Патент на изобретение № RU 139712 U1 с приоритетом от 29.04.2013 г.
16. Ефанов В.М., Ефанов М.В. Импульсный трансформатор на неоднородной линии // Патент на изобретение № RU 2542755 C1 с приоритетом от 20.10.2013 г.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород)», составленный зав. лабораторией моделирования геофизических плазменных явлений к.ф.-м.н. Гуциным М.Е. – отзыв положительный, с замечанием:

к недостаткам автореферата можно отнести низкое качество отдельных графических материалов, в первую очередь – осциллограмм. Это замечание не является замечанием по существу и не влияет на общую высокую оценку работы. Отдельно отмечено, что импульсные генераторы, разработанные в диссертации, успешно применяются в фундаментальных и прикладных исследованиях, выполняемых в ИПФ РАН, и позволяют получить научные результаты мирового уровня.

2. Акционерное общество «Научно-технический центр Радиоэлектронной борьбы» (г. Москва), составленный руководителем группы советников генерального директора к.т.н. Мамаевым Ю.Н. – отзыв положительный, с замечаниями:

- в постановочной части недостаточно аргументировано исключено использование дрейфовых SOS диодов в качестве коммутирующих приборов;
- недостаточно четко подтверждена достоверность полученных результатов;
- в автореферате имеют место нечитаемые графики на рис. 1 и рис. 2.

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности рассматриваемой работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

Воршевский Александр Алексеевич, доктор технических наук, доцент кафедры электротехники и электрооборудования судов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования является ведущим отечественным ученым в области электромагнитной устойчивости судовой техники.

1. Воршевский А.А., Гришаков Е.С. Влияние электростатического заряда на устойчивость электронного и электротехнического оборудования // Электротехника, №12, 2017, с. 35-39;

2. Воршевский А.А., Агафонов А.М., Гришаков Е.С. Обеспечение помехозащищенности электронного оборудования по портам связи, соединенным через кабельную трассу // Энергетические и электротехнические системы: междунар. сб. на-уч. трудов. - Вып. 5 / под ред. СИ. Лукьянова, Е.Г. Нешпоренко. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2018, с. 76-87;

3. Воршевский А.А., Агафонов А.М., Гришаков Е.С. Измерения наносекундных импульсов, вызванных электростатическим разрядом // Энергетические и электротехнические системы: междунар. сб. на-уч. трудов. - Вып. 5 / под ред. СИ. Лукьянова, Е.Г. Нешпоренко. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2018. с. 121-129.

Вдовин Владимир Александрович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН является опытным экспериментатором в области создания и применения сверхмощных импульсных генераторов импульсов тока в мегавольтном диапазоне параметров

1. P.S. Glazunov, A. M. Saletskii and V. A. Vdovin. Investigation of the Impact of Pulsed Electromagnetic Interference on the Stability of Ring Generators. Journal of Communications Technology and Electronics, 2022, Vol. 67, No. 8, pp. 1030-1038. DOI: 10.1134/S1064226922080058.

2. В.Г. Андреев, В.А. Вдовин, П.С. Глазунов, И. И. Пяткин, Ю.В. Пинаев. Влияние толщины диэлектрической подложки на поглощающие и просветляющие свойства ультратонких пленок меди. *Оптика и спектроскопия*, 2022, том 130, вып. 9, с. 1410-1416. DOI: 10.21883/OS.2022.09.53304.3539-22
3. Gulyaev Y.V., Cherepenin V.A., Taranov I.V., Vdovin V.A., Khomutov G.B. Activation of Nanocomposite Lipo-somal Capsules in a Conductive Water Medium by Ultra-Short Electric Exposure. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2021, 66(1), стр. 88-95. DOI: 10.1134/S1064226921010022

Ведущая организация - ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (г. Саров) является ведущей отечественной организацией в области физики экстремальных состояний энергии и их практических приложений.

1. Базанов А.А. Гаранин С.Г. Ивановский А. и др. Источник мегаамперного тока с временем нарастания  $\sim 100$  нс на базе взрывомагнитных генераторов // Доклады Академии наук, Т. 489, № 4, С.355-357, 2019г.;
2. Дубинов А.Е. Кожаева Ю.П. Генерация импульсно- периодической последовательности наносекундных искровых разрядов в воздушном промежутке между прозрачными гидрогелевыми электродами // Письма в Журнал технической физики. Т.45, №8, С. 16-18, 2019 г.;
3. Бродский И.А. Галахов И.В. Задорожная Е.Н и др. Система заряда конденсаторной батареи лазерной установки "Искра-5" // Приборы и техника эксперимента, № 2, С. 65-71, 2018 г.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

1. Разработаны принципы построения компактных генераторов наносекундных импульсов с амплитудой 500 кВ, длительностью импульсов 10 нс по схеме индуктивного накопителя энергии, с размыкающими ДДРВ ключами и основными силовыми ФИД ключами. Генератор применен для накачки мощного газового лазера.
2. Разработан компактный высокостабильный генератор прямоугольных импульсов напряжения на основе ДДРВ и ФИД ключей, с выходной амплитудой до 30 кВ. Экспериментально исследована долговременная амплитудная стабильность 0.1%, одновременно с временным джиттером около 30 пс RMS, при полной задержке 300 нс. Генератор применен в отклоняющих системах синхротронов.
3. Разработана серия генераторов на основе высокочастотных ДДРВ ключей с длительностями импульсов от 300 пс до десятков наносекунд, с амплитудой 0.6 – 10 кВ, с частотами следования импульсов от 1 МГц до 15 МГц. Генераторы нашли применение в мощных СШП-излучателях и плазменных установках. Разработан компактный наносекундный генератор с амплитудой 10 кВ и максимальной постоянной частотой следования до 1 МГц. Широкий диапазон параметров этой серии генераторов по напряжениям и частотам следования позволяет использовать их в физических экспериментах, в ускорительной технике, для исследования ЭМС различного оборудования.
4. Исследован и применен принцип умножения амплитуды высоковольтных импульсов на кабельных линиях с коэффициентом 6 для генераторов мегагерцового диапазона. Разработан генератор прямоугольных импульсов с амплитудой 5 кВ и длительностью в десятки наносекунд и максимальной частотой следования 5 МГц в пакетном режиме. Генератор применен в системах отклонения электронных пучков.
5. Исследованы научно-технические условия создания и разработана серия генераторов импульсов напряжения с впервые реализованным фронтом 20-40 пс

для амплитуд величиной 15 кВ, которые на три порядка больше достигнутого мирового уровня. В качестве ключей использовались ФИД приборы и ДДРВ нового поколения. Создана и прокалибрована установка для измерения пикосекундных времен нарастания и временной нестабильности таких импульсов при мегаваттной мощности измеряемого сигнала. Генераторы применены для запитки СШП-антенн.

6. Проведены исследования и достигнута сверхвысокая временная стабильность для пикосекундных генераторов мегаваттного уровня. При амплитуде 15 кВ и фронте менее 40 пс зарегистрирован джиттер менее 2 пс RMS, и полный размах задержки от импульса к импульсу менее 9 пс при полной задержке около 90 нс.
7. Разработан СШП излучатель на основе генератора пикосекундных импульсов напряжения с фронтом около 50 пс и амплитудой 10 кВ для применения в фундаментальных исследованиях при прохождении СШП-сигналов в атмосфере.
8. Экспериментально исследовано прохождение СШП электромагнитного импульса с полушириной около 60 пс через атмосферу Земли на расстояние до 15 км

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Практическая значимость заключается в создании технологии мощных нано-пикосекундных генераторов импульсов напряжения нового поколения, нашедших применение в ряде прикладных задач современной науки и техники.

Теоретическая значимость работы заключается в возможности верификации расчетно-теоретических моделей по результатам проведенных в работе экспериментов по распространению СШП-сигналов в свободной атмосфере Земли на большие расстояния.

### **Достоверность результатов**

Достоверность экспериментальных результатов обеспечена применением современных сертифицированных приборов для измерения пикосекундных импульсов напряжения, контролем рабочих параметров измерительных приборов, применением векторного анализатора с полосой до 18 ГГц для контроля основных рабочих параметров аттенюаторов, а также применением методики параллельного измерения параметров импульсов различными аттенюаторами и осциллографами.

### **Личный вклад автора**

Все изложенные в диссертации результаты получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии. Автор принимал непосредственное участие в постановке задач исследования, создании экспериментального оборудования, проведении экспериментов в лабораторных и полевых условиях, в обсуждении и формулировке полученных результатов. Непосредственно автором были разработаны, отмакетированы и доведены до уровня полноценных изделий генераторы нано-пикосекундных импульсов с пиковой мощностью до нескольких гигаватт. Основные публикации по выполненной работе подготовлены при определяющем участии автора.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Ефанов В.М. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию и согласился с высказанными замечаниями.

На заседании от 22.12.202г. диссертационный совет принял решение за исследование, разработку и применение сверхмощных нано- и пикосекундных генераторов импульсов напряжения присудить Ефанову Михаилу Владимировичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки;

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве \_\_\_ человек, из них очно: \_\_\_ докторов наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки, дистанционно: \_\_\_ доктора наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за \_\_\_, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета 99.1044.02  
академик



Лагарьков А.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета 99.1044.02  
д.ф.-м.н.

Дорофеев А.В.  
22.12.2022 г.