

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный  
исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»  
(ИПФ РАН)

**НАУЧНЫЙ ДОКЛАД  
ОБ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ПОДГОТОВЛЕННОЙ  
НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ (ДИССЕРТАЦИИ)**

**«Электронные генераторы мощных ультракоротких микроволновых импульсов с  
пассивной синхронизацией мод»**

**Аспирант:** Вилков Михаил Николаевич

---

*(подпись аспиранта)*

**Научный руководитель:** Гинзбург Наум  
Самуилович, д. ф. - м. н., проф., зав. отд.

---

*(подпись научного руководителя)*

**Направление подготовки:**  
03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность (профиль) подготовки:**  
01.04.03 Радиофизика

**Форма обучения:** очная

Нижний Новгород  
2018

## Актуальность работы

В физике лазеров получил широкое применение механизм генерации ультракоротких импульсов (УКИ), основанный на синхронизации мод (англ. mode-locking) рабочего резонатора в процессе периодической модуляции его добротности [1-8]. При этом используются механизмы как активной [6-7], так и пассивной модуляции [8]. В первом случае параметры резонатора модулируются внешним воздействием с периодом кратным времени прохождения светового импульса по резонатору (активная синхронизация мод). Во втором случае этот же эффект достигается с помощью просветляющегося поглотителя<sup>1</sup>, устанавливаемого внутри резонатора (пассивная синхронизация мод). Очевидно, что подобные методы генерации импульсов высокой амплитуды могут быть перенесены в СВЧ электронику [9-11]. В частности, метод активной периодической модуляции добротности СВЧ резонатора исследовался в [9]. В этой работе для модуляции добротности предлагалось использовать фазовый переход полупроводник-металл, инициируемый воздействием на полупроводниковую пластину периодического лазерного излучения. Однако, область применимости такого метода, с одной стороны, ограничена требованием относительно невысокой интенсивности СВЧ полей внутри резонатора, чтобы последние не влияли на процесс фазового перехода. С другой стороны, в соответствии с характерным временем распространения СВЧ импульсов по пространству взаимодействия необходима достаточно высокая (до сотен мегагерц) частота следования переключающих лазерных импульсов.

В данной работе исследуется альтернативная возможность - использование метода пассивной синхронизации мод в электронных генераторах, состоящая в установке просветляющегося поглотителя в цепь обратной связи, для генерации ультракоротких микроволновых импульсов. Микроволновое излучение в виде ультракоротких импульсов с высокой частотой повторения имеет большое практическое значение для радиолокации высокого разрешения [12], спектроскопии [13], диагностики плазмы [14]. Так же реализация

---

<sup>1</sup> просветляющийся поглотитель (или насыщающийся поглотитель или нелинейный поглотитель) это такой элемент, который поглощает сигнал относительно малой амплитуды и практически без потерь пропускает сигнал относительно большой амплитуды.

метода пассивной синхронизации мод в СВЧ электронике имеет чисто фундаментальный интерес.

### **Цели научно-квалификационной работы**

Основными целями научно-квалификационной работы (НКР) являются:

1. Теоретическое исследование генерации УКИ микроволнового диапазона с помощью метода пассивной синхронизации мод на основе генератора, состоящего из электронного усилителя, нелинейного поглотителя, цепи обратной связи, образующей резонатор, и ответвителя, выводящего часть излучения в полезную нагрузку.
2. Теоретическое исследование эффектов, позволяющих реализовать нелинейное поглощение микроволнового излучения, и синтез на их основе насыщающихся абсорберов, необходимых для реализации метода пассивной синхронизации мод в этом частотном диапазоне электромагнитных волн.
3. Разработка макетов генераторов УКИ с пассивной синхронизацией мод на основе двухсекционных схем с усиливающими и поглощающими электронными пучками. В том числе на базе моделей, учитывающих реальную дисперсионную характеристику электродинамических систем.

### **Научная новизна**

Теоретически продемонстрирована возможность реализации метода пассивной синхронизации мод в СВЧ генераторах для генерации ультракоротких микроволновых импульсов. Предложены, исследованы и обоснованы конкретные типы насыщающихся поглотители работающих в микроволновом диапазоне длин волн - необходимых элементов для реализации этого метода УКИ генерации.

## **Научная и практическая значимость**

Фундаментальная значимость данной работы - теоретически продемонстрирована реализация метода пассивной синхронизации мод в СВЧ диапазоне. Предложены насыщающиеся поглотители, функционирующие в этом диапазоне частот. Генерации УКИ в микроволновом диапазоне может найти своё применение в радиолокации высокого разрешения, спектроскопии и диагностики плазмы.

## **Основные положения, выносимые на защиту**

Основные результаты НКР являются положениями, выносимыми на защиту.

## **Личный вклад автора**

Все основные результаты, включенные в НКР, получены лично автором или при его непосредственном участии. Постановка задач, определение подходов к их решению, анализ, обсуждение и интерпретация полученных результатов осуществлялись совместно с научным руководителем д.ф.-м.н. проф. Н.С. Гинзбургом и д.ф.-м.н. И.В. Зотовой.

Расчеты выполнялись автором на основе оригинальных вычислительных программ, созданных автором самостоятельно, а так же с помощью вычислительных кодов, разработанных А.С. Сергеевым.

## **Публикации и апробация результатов**

Основные материалы по теме НКР опубликованы в работах [1А - 9А] и докладывались на внутренних семинарах ИПФ РАН, а также на российских и международных конференциях [10А - 19А], включая Научно-технический семинар (г. Нижний Новгород, 2015 г.), международные конференции по волнам инфракрасного и миллиметрового диапазонов (Гонконг, 2015 г.; Копенгаген, 2016 г.), X Всероссийский семинар по радиофизике

миллиметровых и субмиллиметровых волн (г. Нижний Новгород, 2016 г.), XI Международную школу-конференцию "Хаотические автоколебания и образование структур" (Саратов, 2016 г.), Нижегородскую сессию молодых учёных (Нижегородская обл. с. Морозовка, 2016 и 2017 гг.), XVI Всероссийскую школу-семинар (г. Можайск, 2017 г.), X международную конференцию "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications" (Н. Новгород - Москва, 2017 г.), V Всероссийскую микроволновую конференцию (Москва, 2017 г.).

### **Структура научно-квалификационной работы**

НКР состоит из введения, трех глав, списка литературы из 60 наименований. Объем диссертации составляет 106 страниц, включая 34 рисунка и 3 таблицы.

### **Краткое содержание научно-квалификационной работы**

Во *введении* обоснованы актуальность темы НКР, кратко сформулированы цели и задачи, личный вклад автора, положения, выносимые на защиту, а также научная новизна и практическая значимость работы.

В *первой главе* с помощью универсальной модели электронных усилителей с преобладающей инерционной группировкой частиц [15-16] (секция усиления) и типичной для лазерных схем безынерционной моделью поглотителя с насыщающейся нелинейностью [4] (секция нелинейного поглощения) производится демонстрация основных динамических режимов работы, характерных для данных схем генераторов УКИ, вне зависимости от типа и устройства каждой из секции. В разделе 1.1 даётся описание модели, и приводятся основные уравнения. В разделе 1.2 на примере этой модели генератора УКИ демонстрируются основные динамическими режимами работы, включающие и режимы генерации УКИ. В зависимости от уровня подавления малого сигнала в насыщающемся поглотителе реализуется мягкий или жёсткий режим возбуждения генерации системы. В разделе 1.3 рассматривается ситуация, когда в усиливающем электроном потоке имеет место разброс частиц по их начальной энергии. Показано, что в этом случае так же возможна генерация УКИ. Данная ситуация является аналогом неоднородного уширения линии в лазерной физики [17].

Во *второй главе* рассматриваются методы реализации насыщающихся поглотителей, на основе электронно-волнового взаимодействия. В разделе 2.1 анализируется нелинейный

поглотитель [2А,4А] на основе циклотронного взаимодействия излучения с прямолинейным замагниченным электронным пучком, в котором насыщение поглощения для излучения большой амплитуды обусловлено зависимостью гирочастоты от энергии частиц [18]. Далее такой тип поглотителя будем называть циклотронным поглотителем. В разделе 2.2 ([4А-5А])-на основе черенковских ламп бегущей волны (ЛБВ), работающих в режимах компфнеровского подавления [19-20], реализующегося в области расстроек синхронизма, при которых фазовая скорость волны превосходит поступательную скорость электронов. При этом требуемые характеристики поглотителя достигаются соответствующим подбором параметров, в том числе расстройки синхронизма, длины рабочего пространства и тока пучка. Подавление малого сигнала в этом типе поглотителей обусловлено взаимным гашением трёх нормальных волн возникающих при функционировании ЛБВ в линейном режиме. Просветление поглотителя для большого сигнала происходит в силу проявления нелинейности системы. В разделе 2.3 - на основе гиро-ЛБВ с гладкими [21-22] или винтовыми волноводами [6А], оперирующими с криволинейными электронными пучками. На основе аналитического и численного анализа соответствующих уравнений, производится исследование: когда и при каких условиях имеет место режим нелинейного в соответствующих системах, формулируются «рецепты» синтеза параметров поглотителей при известной несущей частоте входного сигнала и мощности, при которой он должен насыщаться.

*В третьей главе* рассматриваются несколько схем генераторов УКИ, основанных на режиме пассивной синхронизацией мод. В разделе 3.1 возможность импульсной генерации продемонстрирована в рамках модели генератора - цепочка двух черенковских ламп бегущей волны [5А], одна из которых работает в режиме усиления, другая - в режиме компфнеровского подавления (п. 3.1.1). В этом же разделе (п. 3.1.2) рассматривается та же схема, в которой в качестве активного элемента использует черенковская лампа обратной волны, нелинейный поглотитель тот же [8А]. В этом случае так же возможна генерация УКИ, при этом длительность генерируемых импульсов оказывается больше по сравнению с генератором, в котором ЛБВ - активный элемент. Ещё одно достоинство такой схемы является то, что она всегда обладает мягким режим самовозбуждения, поскольку ЛОВ - генератор. В разделе 3.2 с помощью модели релятивистская ЛБВ в связке циклотронным поглотителем (см. раздел 2.1) демонстрируется, что в подобных схемах возможна ситуация когда коэффициент конверсии (отношение пиковой мощности генерируемых импульсов превосходит мощность запитывающего электронного потока) может быть больше единицы [3А-4А]. В данном случае он равен 1.2. С точки зрения использования релятивистских ЛБВ, оперирующих с мощными

электронными пучками, это означает генерацию импульсов с мультигигаваттным уровнем пиковой мощности [3А-4А]. В разделе 3.3 рассматривается упрощенная клистронная модель генератора УКИ, в которой взаимодействие двух электронных пучков (усиливающего и поглощающего) и поля излучения происходит в двух коротких промежутках, разделенных областью дрейфа. В рамках данной модели удается аналитически найти электронную восприимчивость, вносимую пучками в резонатор, в том числе, в нелинейных режимах. Получающееся уравнение для поля аналогично по форме уравнению, описывающему диссипативные солитоны, которые детально исследовались в работах [23-24], что позволяет трактовать найденное колоколообразное решение как автосолитон (диссипативный солитон) [24]. В двух последних разделах третьей главы приведены макеты генераторов УКИ на основе цепочки giro-ЛБВ с винтовым волноводом и циклотронного абсорбера (раздел 3.4) и связки двух винтовых giro-ЛБВ, одна из которых работает как усилитель, другая - как нелинейный поглотитель [6А] (раздел 3.5). Используемые модели усиливающих и нелинейно поглощающих элементов учитывают конечность рабочей частотной полосы и дисперсионное расплывание излучения в пространстве взаимодействия. В п. 3.4.3 и п. 3.5.2 исследуются отдельно свойства циклотронного поглотителя и абсорбер на основе винтовой giro-ЛБВ, соответственно. Так же в п. 3.4.3 приведены результаты экспериментов, проведенных С.В. Самсоновым (лаборатория №152, ИПФ РАН), по наблюдения нелинейного поглощения в винтовой giro-ЛБВ.

В заключении сформулированы основные результаты НКР.

## **Основные результаты**

1. Продемонстрирована возможность импульсной генерации в рамках универсальной модели электронного усилителя с преобладающей инерционной группировкой частиц и типичной для лазерных схем безынерционной моделью поглотителя с насыщающейся нелинейностью. При этом пиковая амплитуда импульсов превосходит уровень стационарной генерации, а в рамках модели релятивистская ЛБВ с циклотронным поглотителем в цепи обратной связи показано, что пиковая мощность генерируемых импульсов может превосходить мощность запитывающего электронного потока.

2. Предложен нелинейный поглотитель, работающий в микроволновом диапазоне, основанный на циклотронном взаимодействии излучения с первоначально прямолинейным замагниченным пучком.
3. Предложен нелинейный поглотитель, работающий в микроволновом диапазоне, на основе черенковских ЛБВ и гиро-ЛБВ с гладким или многозаходным винтовым волноводом, работающих в режиме компфнеровского подавления входного сигнала.
4. Разработан макет генератора УКИ Ка-диапазона на основе цепочки двух гиро-ЛБВ с многозаходным винтовым волноводом (одна ЛБВ работает как усилитель, другая - как нелинейный поглотитель). Модель винтовой гиро-ЛБВ учитывает конечность рабочей полосы и реальную дисперсию электродинамической системы.

Сформулированы оптимальные условия для генерации УКИ. В усилителе благоприятна ситуация наличия различия между поступательной скоростью частиц усиливающего потока и групповой скоростью волны. В этом случае импульс поля, проскальзывая вдоль электронного потока, кумулятивно отбирает энергию у различных электронных фракций, что способствует более эффективному усилению импульсов. В поглотителе напротив оптимален режим группового синхронизма (равенство поступательной скорости частиц и групповой скорости волны). В этом случае минимизируется влияние смежных фрагментов электромагнитного импульса поля друг на друга через электронный поток (безынерционность), а так же достигается максимально возможная рабочая частотная полоса.

## Цитируемая литература

1. Haus H. A. Mode-locking of lasers // IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics. 2000. V.6. №6. P.1173-1185.
2. Херман Й. и Вильгельми Б. Лазеры сверхкоротких световых импульсов // Москва: Мир, 1986.
3. Brabec T. and Krausz F. Intense few-cycle laser fields: Frontiers of nonlinear optics // Rev. Mod. Phys. 2000. V.72, №2, P. 545-591.
4. Крюков П.Г. Лазеры ультракоротких импульсов // Квантовая электроника. 2001. Т.31. № 2. С.95.
5. Smith P. W., Duguay M.A., Ippen E.P. Mode-locking of lasers //Progress in Quantum Electronics. Pergamon Press. 1975.
6. Gürs K. and Müller R. Breitband-modulation durch steuerung der emission eines optischen masers // Phys. Lett. 1963. V.5. P.179-181.
7. Kuizenga D.I. and Siegman A.E. Modulator frequency detuning effects in the FM mode-locked laser // IEEE J. Quantum Electron. 1970. Т.1. P. 803–808.
8. Haus H.A. Theory of mode locking with a fast saturable absorber // J. AP.. Phys. 1975. V.46. P.3049-3058.
9. Denisov G.G., Kuzikov S.V. and Savilov A.V. Q-switching in the electron backward-wave oscillator // Physics of Plasmas. V.18. 2011.
10. Гришин С.В., Дмитриев Б.С., Скороходов В.Н., Шараевский Ю.П. Генерация диссипативных временных солитонов в кольцевых автоколебательных системах с клистроны-усилителями // Письма в ЖТФ. 2015. Т.41. №17. С.9-17.
11. Cutler C.C. The Regenerative Pulse Generator // Proc. IRE. 1955. Т.43. P. 140-148.
12. Бердышев В.П., Гарин Е.Н., Фомин А.Н. и др. Радиолокационные системы. Красноярск: СФУ, 2012.
13. Пентин Ю.А. и Вилков Л.В. Физические методы исследования в химии. Москва: Мир, 2003.

14. Хилд М.А. Микроволновая диагностика плазмы. Под ред. Шпигеля И.С., Абакан: Атомиздат, 1968.
15. Братман В.Л., Гинзбург Н.С., Ковалёв Н.Ф. и и. др. Релятивистская высокочастотная электроника. Горький: ИПФ АН СССР, 1979. С. 249-274.
16. Гинзбург Н.С. и Сергеев А.С. Динамика ЛСЭ генераторов с резонаторами произвольной добротности // Журн. техн. физ. 1991. Т.61. №6. С. 133-140.
17. Portis A.M. Inhomogeneous linebroadening in F centers // Phys. Rev. 1953. Т.91. Р.1071.
18. Гинзбург Н.С., Зотова И.В. и Сергеев А.С. Самоиндуцированная прозрачность компрессия и остановка электромагнитных импульсов при взаимодействии с пучками невозбужденных классических осцилляторов // ЖЭТФ. 2011. Т.140. № 5. С.890.
19. Kompfner R. // J.Brit. IRE. 1950. V.10, №8-9, P.283-289.
20. Шевчик В.Н. и Трубецков Д.И. Аналитические методы расчета в электронике СВЧ. Москва: Советское радио, 1970.
21. Kou C.S., Chu K.R., McDermott D.B., Luhmann N.C. and et al. Effective bandwidth and the Kompfner dip for cyclotron autoresonance maser amplifiers // Phys. Rev. E. 1995. V.51. P.642. 1995.
22. Oleinik M. V. and Trubetskov D.I. A small signal theory of gyro-devices using the concept of space-charge waves // IEEE Trans. Plasma Sci. 1996. Т.24, №3. P.707-717.
23. Владимиров А.Г., Розанов Н.Н., Ходова Г.В. и др. Бифуркационный анализ лазерных автосолитонов // Квантовая электроника. 1997. Т.24. №11. С.978-982,
24. Розанов Н.Н. Диссипативные оптические солитоны // УФН. 2000. Т.170. №4. P.462-465.
25. Гинзбург Н.С., Кочаровская Е.Р., Вилков М.Н. и Сергеев А.С. Пассивная синхронизация мод и формирование диссипативных солитонов в электронных генераторах с просветляющимся поглотителем в цепи обратной связи // ЖЭТФ. 2017. Т.151. №1. С.50-58. 2017.
26. Гинзбург Н.С., Зотова И.В. и Сергеев А.С., Об особенностях усиления коротких электромагнитных импульсов при распространении вдоль стационарных электронных потоков // Письма в ЖТФ. 1999. Т.25. №20. С.8-15.

27. Яландин М.И., Реутова А.Г., Ульмаскулов М.Р. и др. Эффект нелинейной компрессии ультракоротких микроволновых импульсов в процессе усиления квазистационарными электронными потоками // Письма в ЖЭТФ. 2010. Т.91. №11. С.620-625. 2010.
28. Яриев А. Квантовая электроника. под ред. Ханина Я.И., Москва: Советское радио, 1980. С.149.
29. Ippen E.P., Shank C.V. // Appl. Phys. Letts. 1975. Т.27. P.448.
30. Жильцов В.А. и Скворода А.А. Образование горячих электронов в открытых ловушках при ЭЦР нагреве с продольным вводом мощности // Физика плазмы. 1991. Т.17. С.771-784
31. Братман В.Л., Гинзбург Н.С., Нусинович Г.С. и др. Релятивистская высокочастотная электроника. под ред. А. В. Гапонова-Грехова, Горький: ИПФ АН СССР, 1979. С.157.
32. Nusinovich G. S. Introduction to the Physics of Gyrotrons. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2004. P.143-146.
33. Люиселл У. Связанные и параметрические колебания в электронике. Москва: ИЛ, 1963.
34. Гапонов А.В., Петелин М.И. и Юлпатов В.К. Индуцированное излучение возбужденных классических осцилляторов и его использование в высокочастотной электронике // Изв. вузов. Радиофизика. 1967. Т.10. №9-10. С.1414-1453.
35. Denisov G.G., Bratman V.L., Cross A.W., et al. Gyrotron Traveling Wave Amplifier with a Helical Interaction Waveguide // Phys. Rev. Lett. 1998. V.81. №25. P.5680-5684.
36. Samsonov S.V., Gachev I.G., Denisov G.G. et al. Ka-Band Gyrotron Traveling-Wave Tubes with the Highest Continuous-Wave and Average Power // IEEE Trans. Electron Devices. 2014. Т.61. №12. P.4264-4267.
37. Brabec T., Spielmann C., Curley P.F. and Krausz F. Kerr lens mode locking // Opt. Lett. 1992. Т.17. №18. P.1292-1294.
38. Ковалёв Н.Ф. Исследования высокочастотных генераторов обратной волны, основанных на индуцированном черенковском излучении сильноточечных релятивистских электронных потоков : дис. кан. физ.-мат. наук: 01.04.04. АН СССР ИПФ, Горький, 1983. С.117.
39. Ginzburg N.S., Petelin M.I. and Sergeev A.S. // Opt. Commun. 1985. Т.55. P.283.

40. Ginzburg N.S., Zotova I.V., Sergeev A.S., et al. Mechanisms of amplification of ultrashort electromagnetic pulses in gyrotron traveling wave tube with helically corrugated waveguide // Physics of Plasmas. 2015. T.22. Art.no.113111.
41. Ginzburg N.S., Zavolsky N.A. and Nusinovich G.S. Theory of non-stationary processes in gyrotrons with low Q resonators // Int. J. Electron. 1986. V.61. №6. P.881-894.

## Публикации автора по теме научно-квалификационной работы

- 1А. Гинзбург Н.С., Денисов Г.Г., Вилков М.Н., Зотова И.В., Сергеев А.С. Генерация периодической последовательности мощных ультракоротких импульсов в лампе бегущей волны с просветляющимся поглотителем в цепи обратной связи // Письма в ЖТФ. 2015. Т.41. №17. С.44-52.
- 2А. Вилков М.Н., Гинзбург Н.С., Денисов Г.Г., Зотова И.В., Сергеев А.С. Генерация периодической последовательности мощных ультракоротких импульсов в гиро-ЛБВ с просветляющимся циклотронным поглотителем в цепи обратной связи // Известия вузов. Радиофизика. 2015. Т. 58. №8. С.664-673.
- 3А. Ginzburg N. S., Denisov G. G., Vilkov M. N., Zotova I. V., Sergeev A. S. Generation of “gigantic” ultra-short microwave pulses based on passive mode-locking effect in electron oscillators with saturable absorber in the feedback loop // PHYSICS OF PLASMAS. 2016. V.23, Art.no.050702.
- 4А. Гинзбург Н.С., Денисов Г.Г., Абубакиров Э.Б., Вилков М.Н., Зотова И.В., Сергеев А.С. Генераторы мощных ультракоротких СВЧ-импульсов с просветляющимися поглотителями в цепи обратной связи // Известия ВУЗов. Радиофизика. 2016. Т.59, №8-9. С.1-19.
- 5А. Гинзбург Н.С., Абубакиров Э.Б., Вилков М.Н., Зотова И.В., Сергеев А.С. Генерация периодической последовательности мощных ультракоротких импульсов в цепочке связанных ламп бегущей волны, работающих в режимах усиления и нелинейного компфнеровского подавления // Письма в ЖТФ. 2017. Т.43. №18. С.47-55.
- 6А. Ginzburg N. S., Denisov G. G., Vilkov M. N., Zotova I. V., Sergeev A. S., Samsonov S.V. and Mishakin S.V. Generation of train of ultrashort microwave pulses by two coupled helical gyro-TWTs operating in regimes of amplification and nonlinear absorption // Physics of Plasmas. 2017. V.24. Art.no.023103.
- 7А. Вилков М.Н., Гинзбург Н.С., Зотова И.В., Сергеев А.С. Сценарии включения генератора ультракоротких импульсов на основе двух связанных винтовых гиро-ЛБВ, работающих в

- режимах усиления и нелинейного поглощения // Известия РАН. Серия физическая. 2018. Т.82. №1. С.1–6.
- 8А. Гинзбург Н.С., Абубакиров Э.Б., Вилков М.Н., Зотова И.В., Сергеев А.С. Генерация периодической последовательности мощных ультракоротких импульсов в цепочке связанных релятивистских ламп обратной и бегущей волны, работающих в режимах усиления и нелинейного компферовского подавления // ЖТФ. 2018. Т.88. №8. С.1241-1247.
- 9А. Ginzburg N. S., Denisov G. G., Vilkov M. N., Zotova I. V., Sergeev A. S., Samsonov S.V. and Mishakin S.V., Marek A. and Jelonnek J. Ultra-Wideband Microwave Oscillator Performance by Coupling of Two Gyro-TWTs with Helical Waveguide // IEEE Transactions on Plasma Science. 2018. V.65. No.6. P.2334-2339.
- 10А. Ginzburg N.S., Denisov G.G., Vilkov M.N., Zotova I.V., Sergeev A.S. Generation Of Ultrashort Microwave Pulses In Gyro-TWT With Saturable Cyclotron Absorber In The Feedback Loop // Book of Abstracts, 40th Inter. Conf. IRMMW-THz 2015, 22-28 August, Hong Kong, TIE-3.
- 11А. Гинзбург Н.С., Денисов Г.Г., Вилков М.Н., Зотова И.В., Сергеев А.С. Генерация периодической последовательности мощных ультракоротких импульсов в электронных СВЧ-генераторах с просветляющимся поглотителем в цепи обратной связи // Тезисы докладов X Всероссийского семинара по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, 29.02-03.03.2016, г. Нижний Новгород, с.51.
- 12А. Вилков М.Н. Генерация периодической последовательности мощных ультракоротких импульсов в электронных СВЧ-генераторах с просветляющимся поглотителем в цепи обратной связи // Материалы XXI Нижегородской сессии молодых ученых, 17-20.05.2016, Нижегородская обл., с. Морозовка, с.10-11.
- 13А. Ginzburg N.S., Denisov G.G., Vilkov M.N., Sergeev A.S., Zotova I.V., Kocharovskaya E.R. Passive Mode-Lockung, Disipative Solitons And Generation Of Ultrashort Pulse In Electron Oscillatoors With Saturable Absorber in The Feedback Loop // Book of Abstracts, 41st Inter. Conf. IRMMW-THz 2016, 25-30 September, Copenhagen, H3B.5.
- 14А. Вилков М.Н., Гинзбург Н.С., Денисов Г.Г., Зотова И.В., Сергеев А.С. Генерация периодической последовательности мощных ультракоротких импульсов в цепочке гиро-

- ЛБВ, работающих в режимах усиления и нелинейного подавления // Материалы XI международной школы-конференции "Хаотические автоколебания и образование структур" ХАОС-2016, 3-8.10.2016, г. Саратов, с.46.
- 15А. Вилков М.Н. Генерация периодической последовательности мощных ультракоротких импульсов в цепочке винтовых gyro-ЛБВ, работающих в режимах усиления и нелинейного подавления // Материалы XXII Нижегородской сессии молодых ученых, 23-26.05.2017, Нижегородская обл., с. Морозовка, с. 11-12.
- 16А. Вилков М.Н., Гинзбург Н.С., Зотова И.В., Сергеев А.С. Генерация периодической последовательности мощных ультракоротких импульсов в цепочке двух связанных винтовых gyro-ЛБВ, работающих в режимах усиления и нелинейного поглощения // Труды Всероссийской школы-семинара «Физика и применение микроволн» имени А.П. Сухорукова («Волны-2017»), 4-9.06.2017, г. Можайск, с.12-13.
- 17А. Vilkov M.N., Ginzburg N.S., Denisov G.G., Zotova I.V., Sergeev A.S., Samsonov S.V. and Mishakin S.V. Ultrashort pulse generation based on two coupled helical gyro-TWTs // Труды X международной конференции "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications" (SMP-2017), 17-22.07. 2017, Н. Новгород - Москва. (EPJ Web of Conferences. 2017. V.149. 04041)
- 18А. Ginzburg N.S., Denisov G.G., Vilkov M.N., Zotova I.V., Sergeev A.S., Rozental R.M., Samsonov S.V., Mishakin S.V., Jelonnek J. and Marek A. Passive Mode-Locking and Generation of Ultrashort Pulses in Electron Oscillators with Saturable Absorber in the Feedback Loop // European Microwave Week 2017, 8-13.10.2017, Nurnberg Convention Center, Nuremberg, Germany.
- 19А. Вилков М.Н., Гинзбург Н.С., Зотова И.В., Сергеев А.С., Самсонов С.В., Мишакин С.В. Режим пассивной синхронизации мод в электронном генераторе на основе двух связанных винтовых gyro - ЛБВ // Тезисы докладов V Всероссийской микроволновой конференции, ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова, 29.11-01.12.2017, г. Москва, с.309-312.