

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук
Галдецкого Анатолия Васильевича на диссертацию Титова Алексея
Владимировича на тему «Волновые и колебательные явления в системах с
двумя взаимодействующими электронными потоками», представленной на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, по
специальности 01.04.03 – «Радиофизика»

Несмотря на то, что физика взаимодействия электронных пучков с полями электродинамических систем исследовалась десятки лет, в том числе в формализме связанных волн, тем не менее, рассмотренные в диссертации вопросы создания активной среды в электровакуумных приборах являются безусловно **актуальными** при разработке терагерцовых приборов, а также при поиске способов увеличения эффективности взаимодействия, расширения полосы частот, увеличения усиления. При этом наличие средств численного моделирования иногда может даже затруднить понимание физических механизмов и качественных зависимостей выходных характеристик от параметров системы. С этой точки зрения работа А.В. Титова, в которой проводится аналитическое исследование механизмов двухпучкового взаимодействия, оказывается весьма интересной и востребованной.

В работе продемонстрировано, что даже в простой линейной модели двухпучкового взаимодействия без внешней электродинамической системы использование различных способов описания системы (приближений двух-, трех-, четырехпотоковой неустойчивости) позволяет выделить различные особенности взаимодействия и описать их в компактной форме. Это дает возможность выделить качественные зависимости в модели и использовать их при выборе параметров при численном моделировании и

оптимизации схемы прибора. В частности в рамках общего подхода связанных волн показана аналогия описания взаимодействия волн пространственного заряда в двухпучковой схеме с взаимодействием волн в лампе бегущей волны.

В работе А.В. Титова по видимому **впервые** развита нелинейная теория взаимодействия двухпучковой системы с электромагнитной волной аналогичная подходу Вайнштейна-Солнцева. При этом показано, что в области существования конвективной неустойчивости двухпучковая система может обеспечить уровень усиления (а также КПД (!) и выходной мощности) на ~5 дБ более высокий, чем однопучковая при одинаковых параметрах систем и незначительном увеличении длины лампы. Это весьма впечатляющий результат. Более того, автором продемонстрирована неожиданная возможность существования конвективной неустойчивости в режиме большого сигнала в области параметров, где при малом сигнале такой неустойчивости нет. Это должно позволить работать при больших значениях параметра рассинхронизма и, следовательно, строить широкополосные приборы. Нам неизвестны аналогичные результаты у нас в стране и за рубежом. По нашему мнению это открывает возможности по дальнейшему развитию данного направления, в том числе в прикладных исследованиях.

Результаты анализа, развитого в работе, найдут применение при проектировании и оптимизации современных ЭВП для систем связи, радиолокации и радиопротиводействия. Таким образом **научное и практическое значение** работы не вызывает сомнений.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации подтверждается правильным выбором моделей и использованием аппарата, опробованного ранее при анализе однопучковых систем. Причем обращает на себя внимание тот факт, что достигнутые результаты явились следствием первоначальной теоретической проработки и четко сформулированных идей и предложений.

В целом работа оставляет хорошее впечатление и показывает возможности дальнейшего продолжения этого направления в части создания моделей, более приближенных к реальным условиям экспериментов и к конструкциям реальных приборов.

Данная работа не обошлась без **недостатков**. Следует отметить несколько затянутый обзор ранее выполненных работ в главе 1.

Также заметим, что хотя использование двухпучковой схемы способно обеспечить нарастание колебаний в высокочастотной (терагерцовой) области без наличия мелкоструктурных электродинамических систем, но эффективные устройства ввода-вывода все же потребуют миниатюризации (или будут сверхразмерными резонаторами, т.е. узкополосными элементами). Таким образом, двухпучковая схема может улучшить частотные и полосовые свойства механизма усиления в терагерцовом диапазоне, но не снимает технологических проблем при изготовлении подобных устройств.

На графиках дисперсионных зависимостей ω - β в главах 2-4 следует показывать значение действительной части корня, в том числе в области конвективной неустойчивости, где корни уравнения являются комплексными.

В работе имеется некоторое количество редакторских и типографских ошибок.

При развитии нелинейной теории в главе 4 сделаны упрощающие предположения о небольшой степени модуляции. В работе следовало бы оценить справедливость этих допущений при работе вблизи насыщения амплитудной характеристики. Возможно, было бы полезно сравнить данные результаты с данными численного моделирования.

В разделе 3.1 рассмотрен новый механизм интерференционного усиления в двухпучковой системе без «внешней» электромагнитной волны. Было бы желательно сравнить его с интерференционным ростом волн в однопучковой системе. Однако указанные погрешности относятся скорее к

оформлению, являются непринципиальными и не умаляют ценности данной работы и полученных результатов.

Научная новизна результатов и их **апробация** в выступлениях автора на научных собраниях не вызывает сомнений.

Таким образом, можно заключить, что результаты, изложенные в диссертации, можно рассматривать как решение важной задачи, имеющей существенное значение для современной радиофизики, лежащих в основе разработки современных связных и радиолокационных систем СВЧ. Диссертация А. В. Титова «Волновые и колебательные явления в системах с двумя взаимодействующими электронными потоками» вполне удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Титов Алексей Владимирович, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - радиофизика.

Официальный оппонент

Начальник теоретического отделения

АО «НПП «Исток» им. Шокина»,

к.ф.м.н. (01.04.03 - Радиофизика, включая квантовую)

/А. В. Галдецкий/

3.03.2021

Почтовый адрес: 141190, Московская обл., г. Фрязино, ул. Вокзальная 2а

Телефон: +7-495-465-8620

e-mail: galdetskiy@istokmw.ru

Подпись А. В. Галдецкого заверяю:

Секретарь диссертационного Совета

АО «НПП «Исток» им. Шокина»



/И. В. Куликова/