

**Исследование синхронизации в системе двух гиротронов с запаздыванием  
в канале связи на основе модифицированной квазилинейной модели**

*А. Б. Адилова<sup>1</sup>, Н. М. Рыскин<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
Россия, 410012 Саратов, Астраханская, 83

<sup>2</sup>Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН  
Россия, 410019 Саратов, Зелёная, 38

E-mail: AdilovaAB@info.sgu.ru, ryskinm@gmail.com

Автор для переписки Адилова Ассель Булатовна, AdilovaAB@info.sgu.ru

*Поступила в редакцию 8.06.2018, принята к публикации 25.08.2018*

**Тема.** Работа посвящена исследованию взаимной синхронизации двух гиротронов с запаздыванием в канале связи. Как правило, теоретическое исследование процессов синхронизации гиротронов и других микроволновых генераторов проводят путем вычислительного эксперимента на основе тех или иных математических моделей, хорошо зарекомендовавших себя в микроволновой электронике. С помощью такого подхода затруднительно дать достаточно полное описание картины синхронизации, используя методы и представления, выработанные в нелинейной динамике. **Цель.** Целью работы является разработка модифицированной квазилинейной модели, основанной на аппроксимации функции электронной восприимчивости. **Метод.** Исследование проводится на основе бифуркационного анализа системы, который применим к данной модели. Также проводится сопоставление с численным моделированием на основе нестационарной теории гиротрона с фиксированной структурой высокочастотного поля. **Результаты.** Предложенная в работе модель позволяет построить области синхронизации на плоскости параметров коэффициент связи – частотная расстройка для различных синхронных режимов, число которых увеличивается с увеличением времени задержки. Также модель позволяет определить наиболее важные с практической точки зрения количественные параметры (мощность, КПД, частота генерации), которые хорошо согласуются с результатами численного моделирования на основе уравнений нестационарной теории гиротрона с фиксированной структурой высокочастотного поля. **Обсуждение.** Важным преимуществом предложенной модифицированной квазилинейной модели является возможность использовать для изучения режимов синхронизации современные автоматизированные пакеты бифуркационного анализа.

*Ключевые слова:* гиротрон, связанные генераторы, синхронизация, запаздывание, численное моделирование.

*Образец цитирования:* Адилова А.Б., Рыскин Н.М. Исследование синхронизации в системе двух гиротронов с запаздыванием в канале связи на основе модифицированной квазилинейной модели // Изв. вузов. ПНД. 2018. Т. 26, № 6. С. –68-58  
<https://doi.org/10.18500/0869-6632-2018-26-6-68-58>

Финансовая поддержка. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект No 18-02-00839).

**Study of synchronization in the system of two delay-coupled gyrotrons using a modified quasilinear model**

*A. B. Adilova<sup>1</sup>, N. M. Ryskin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Saratov State University

83, Astrakhanskaya Street, 410012 Saratov, Russia

<sup>2</sup>Kotelnikov Institute of Radio-Engineering of RAS, Saratov Branch

38, Zelenaya Street, 410019 Saratov, Russia

E-mail: AdilovaAB@info.sgu.ru, ryskinm@gmail.com

Correspondence should be addressed to Adilova Assel B., AdilovaAB@info.sgu.ru

*Received 8.06.2018, accepted for publication 25.08.2018*

**Topic.** The paper is devoted to the study of mutual synchronization of two gyrotrons coupled with delay. As a rule, a theoretical study of synchronization of gyrotrons and other microwave oscillators is usually carried out by numerical simulations using certain well-established models of microwave electronics. Using this approach, it is difficult to provide a fairly complete synchronization pattern, using methods and ideas of nonlinear dynamics. **Aim.** The aim of the paper is to develop a modified quasilinear model based on the approximation of the electron susceptibility. **Methods.** The study is based on a bifurcation analysis of the system, which is applicable to this model. A comparison is also made with numerical simulation using the non-stationary theory of a gyrotron with a fixed high-frequency field profile. Results The model proposed in this work allowed us to construct synchronization areas on the plane of parameters of the coupling coefficient – the frequency mismatch for various synchronous modes, the number of which increases with increasing delay time. The model also makes it possible to compute the most important practical parameters (power, efficiency, oscillation frequency). **Discussion.** An important advantage of the proposed modified quasilinear model is the ability to use modern automated bifurcation analysis packages for studying synchronization modes.

*Key words:* gyrotron, coupled oscillators, synchronization, delay, numerical modeling.

*Reference:* Adilova A.B., Ryskin N.M. Study of synchronization in the system of two delay-coupled gyrotrons using a modified quasilinear model. *Izvestiya VUZ, Applied Nonlinear Dynamics*, 2018, vol. 26, no. 6, pp. –68-58.

<https://doi.org/10.18500/0869-6632-2018-26-6-68-58>

Acknowledgements. This work is supported by the Russian Foundation for Basic Research grant no. 18-02-00839.