

**Моделирование нестационарного теплового режима работы коллектора электронно-оптической системы с учетом неравномерного токооседания***И. В. Куликова*

*Описывается разработанное программное обеспечение, позволяющее моделировать нестационарные тепловые режимы коллекторов электронно-оптических систем (ЭОС). Программное обеспечение (ПО) построено на методе контрольных объемов. В качестве источников тепла выступают результаты трехмерного траекторного анализа, выполненные в программном комплексе для статического анализа ЭОС. Это позволяет задавать неравномерное токооседание электронных пучков в коллекторах и более точно рассчитывать их тепловые режимы. Разработан алгоритм сглаживания точечных источников на сложной поверхности по гауссиане с заданными параметрами. Это решило проблему нефизичных всплесков температуры при мелкой сетке на коллекторе и небольшого числа траекторий. В разработанном ПО можно использовать граничные условия I, II и III рода, а так же различные материалы. Временные диаграммы тепловых нагрузок можно задавать с неравномерным шагом по времени. В качестве пре- и постпроцессора использован Gmsh.*

*Ключевые слова:* тепловой режим коллектора, метод крупных частиц, метод контрольных объемов.

**Ссылка:** Куликова И. В. // Прикладная физика. 2019. № 3. С. 92.

**Reference:** I. V. Kulikova, Prikl. Fiz., No. 3, 92 (2019).

**Куликова Ирина Владимировна**, вед. инженер, к.т.н.  
АО «НПП «Исток» им. Шокина».  
Россия, 141190, Московская обл., г. Фрязино, Вокзальная ул., 2а, корп. 1.  
Тел.: 8(495) 465-86-66, 8(985) 516-47-47.  
E-mail: cuttlefish99@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 8 апреля 2019 г.*

© Куликова И. В., 2019

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Gilmour A. S, Klystrons Jr., Traveling Wave Tubes, Magnetrons, Crossed-Field Amplifiers, and Gyrotrons. – 2011 Artech House, 685 Canton Street Norwood, MA 02062. P. 859.
2. Hasina Khatun, Ranajoy Bhattacharya, Sudeep Sharan, Kapil Singhal, Uttam Gowswami, Anil Kumar, Nitin Kumar, Udaybir Singh, Sinha A. K. // Vacuum. 2012. Vol. 86. P. 1465.
3. Rees D., Roybal W., Bradley III. J. / Proc. XX International Linac Conference, Monterey, California, Paper THE12, 998–1000.

4. Духина Н. Г., Юнаков А. Н., Евсеев С. В. / Труды 25-й международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». КрыМиКо-2015, Севастополь, 6–12 сентября 2015 г. С. 178–180.
5. Духина Н. Г., Юнаков А. Н., Евсеев С. В. / Труды 26-й международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». КрыМиКо-2016, Севастополь, 4–10 сентября 2016 г. Т. 2. С. 316–322.
6. Духина Н. Г., Куликова И. В., Приступчик Н. К. / Труды 28-й Международной Крымской конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2018). Севастополь, 9–15 сентября 2018 г. С. 246–252.
7. Куликова И. В., Приступчик Н. К. / Тезисы докладов юбилейной научно-технической конференции, посвященной 75-летию АО «НПП «Исток» им. Шокина», Фрязино, 15–16 мая 2018 г. С. 49.
8. Журавлева В. Д., Семенов С. О. // Прикладная физика. 2006. № 3. С. 97.
9. Семенов С. О. // Прикладная физика. 2010. № 3. С. 96.
10. Patankar Suhas V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. – Publisher: CRC Press LLC. 1980.
11. Geuzaine C., Remacle J.-F. // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2009. Vol. 79.

PACS: 02.70.Dh, 44.10.+i, 41.75.Fr

## Simulation of non-stationary thermal mode of the collector with regard to a non-uniform current flow

I. V. Kulikova

Istok R&P Enterprise, JSC  
Bld. 1, 2a Vokzalnaya st., Fryazino, Moscow Region, 141190, Russia  
E-mail: cuttlefish99@mail.ru

Received April 8, 2019

*In this work, the software for transient heating simulation of the electron vacuum device (EVD) collector was developed. The software was based on finite volume method. The input data (heat sources) are results of the 3D electron beam simulation (charged particle trajectories analysis). They are represented with the coordinates of the points where trajectories intersect the inner collector surface, and power  $W$  in the form of a quadruple  $\langle x, y, z, w \rangle$ . An algorithm for smoothing singular sources on the collector's surface is based on Gaussian sampling functions. For such interpolation, the number of trajectories does not limit the size of the elements, i.e. the elements dimensions do not have to correlate with distances between the trajectories. This take in to account non-uniform deposition of the electrons on the collector inner surface and significantly improve accuracy of temperature calculation, which is crucial in practice. As boundary conditions, software allows to define the temperature (Dirichlet boundary condition), the heat flux (Neumann boundary condition), and convection (Cauchy boundary condition). Waveforms defining heat sources can be set with an irregular time step. As pre- and post-processor was used Gmsh (a three-dimensional finite element mesh generator) for to prepare geometry, mesh and display results.*

*Keywords:* thermal mode of the collector, large particles method, finite volume method.

### REFERENCES

1. A. S. Gilmour, Jr. Klystrons, *Traveling Wave Tubes, Magnetrons, Crossed-Field Amplifiers, and Gyrotrons*. (2011 Artech House, 685 Canton Street Norwood, MA 02062). P. 859.
2. Hasina Khatun, Ranajoy Bhattacharya, Sudeep Sharan, Kapil Singhal, Uttam Gowswami, Anil Kumar, Nitin Kumar, Udaybir Singh, A.K. Sinha. *Vacuum* **86**, 1465 (2012).
3. D. Rees, W. Roybal, and III. J. Bradley, in *Proc. XX International Linac Conference, Monterey, (California)*, Paper THE12, P.P. 998–1000.
4. N. G. Dukhina, A. N. Yunakov, and S. V. Evseev, in *Proc. CriMiCo'2015*, (Sevastopol, Russia, September 6–12, 2015), pp. 178–180.
5. N. G. Dukhina, A. N. Yunakov, and S. V. Evseev, in *Proc. CriMiCo'2016*, (Sevastopol, Russia, September 4–10, 2016), vol. 2, pp. 316–322.
6. N. G. Dukhina, I. V. Kulikova, and N. K. Pristupchik, in *Proc. CriMiCo'2018*, (Sevastopol, Russia, September 9–15, 2018), pp. 246–252.
7. I. V. Kulikova and N. K. Pristupchik, in *Abstract of the anniversary scientific and technical conference dedicated to the 75th anniversary of the JSC "RPC "Istok" named after Shokin"*, (Fryazino, Russia, May 15–16, 2018), p. 49.

- 
8. V. D. Zhuravleva and S. O. Semenov, *Prikl. Fiz.*, No. 3, 97 (2006).
  9. S. O. Semenov, *Prikl. Fiz.*, No. 3, 96 (2010).
  10. Suhas V. Patankar, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. (Publisher: CRC Press LLC. 1980).
  11. C. Geuzaine and J.-F. Remacle, *International Journal for Numerical Methods in Engineering* **79** (11), 1309 (2009).