

## РАСЧЕТ МУЛЬТИПАКТОРНОГО РАЗРЯДА В УСКОРЯЮЩИХ РЕЗОНАТОРАХ С УЧЕТОМ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

*М.А. Гусарова, М.В. Лалаян, С.В. Куцаев, И.В. Исаев, Р.О. Болгов*

*Московский инженерно-физический институт (Государственный университет),  
Москва, Россия*

*E-mail: gusarovamariya@mail.ru*

Приведены результаты трёхмерного моделирования мультипакторного разряда в ускоряющих резонаторах фотокаатода PITZ с учетом внешнего магнитного поля. Расчет проводился с использованием программы MultP-M. Выявлены опасные уровни ускоряющего поля и области, подверженные мультипакторному разряду. Представлены примеры возможных резонансных траекторий.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Фотоинжектор PITZ (Photo Injector Test Facility at DESY-Zeuthen) разработан в лаборатории DESY Zeuthen и представляет собой тестовую модель инжектора, предназначенного для использования в установках лазеров на свободных электронах и линейных коллайдерах. На Рис.1 представлена конструкция фотоинжектора PITZ [1].

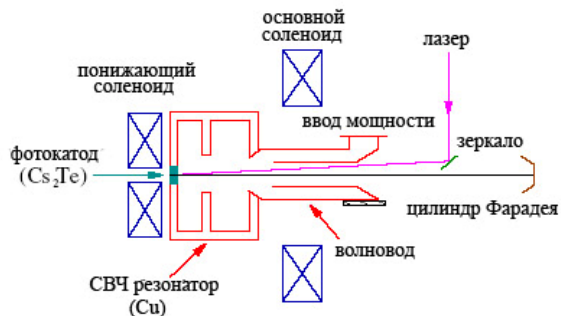


Рис.1. Конструкция фотоинжектора PITZ

В ходе тестирования инжектора наблюдались проблемы, предположительно связанные с возникновением в структуре мультипакторного разряда.

В данной статье представлены результаты расчета мультипакторного разряда в полуторачечном резонаторе фотоинжектора PITZ и рассмотрено влияние внешнего магнитного поля на развитие мультипакторного разряда в структуре. Расчеты проводились с помощью программы трехмерного моделирования мультипакторного разряда MultP-M [2].

### 2. РАСЧЕТ БЕЗ УЧЕТА ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

На Рис.2 представлена конструкция полуторачечного резонатора фотоинжектора PITZ, рассчитанного на частоту 1300 МГц.

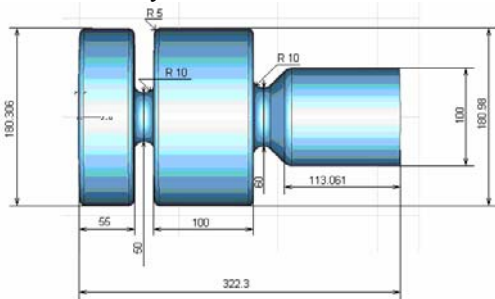


Рис.2. Конструкция резонатора фотоинжектора PITZ

Для расчета в программе MultP-M необходимо определить диапазон уровней поля, в котором будет проводиться расчет, и задать свойства материала, из которого изготовлена структура, а именно значения коэффициента вторичной электронной эмиссии.

Тестовая модель фотоинжектора PITZ изготовлена из меди. Напряженность электрического поля в области катода может достигать более 40 МВ/м. Для охвата всех возможных уровней напряженности электрического поля рабочего диапазона расчет структуры проводился в диапазоне напряженностей электрического поля в области катода от 0 до 55 МВ/м. Коэффициент вторичной электронной эмиссии был задан в соответствии со значениями, характерными для меди, прогретой при температуре 300°C (Рис.3) [3].

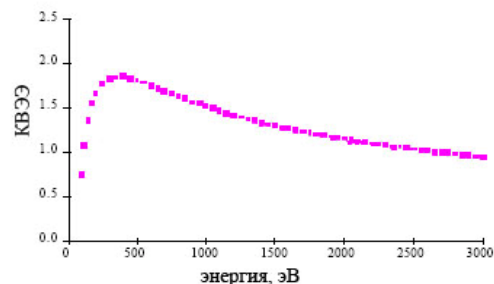


Рис.3. Зависимость коэффициента вторичной электронной эмиссии от энергии первичных электронов для меди

Расчет структуры без внешнего магнитного поля показал, что при уровнях напряженности электрического поля 0,11; 12,0; 24,0; 36,0; 44,7 МВ/м наблюдается увеличение числа электронов в структуре, что может свидетельствовать о возникновении мультипакторного разряда.

На Рис.4 представлен график, полученный с помощью программы MultP-M, отражающий какой процент от начально-заданного числа частиц сохраняется в структуре при различных уровнях напряженности электрического поля. Начальное число произвольно расположенных частиц при расчете составляло 3000.

На графике единица нормированного поля соответствует напряженности электрического поля в области катода 10,9 МВ/м. Видно, что возрастания пиков электронной активности соответствует при значениях 0,01; 1,1; 2,2; 3,3; 4,1, что соответствует напряженностям электрического поля 0,11; 12,0; 24,0; 36,0; 44,7 МВ/м соответственно.

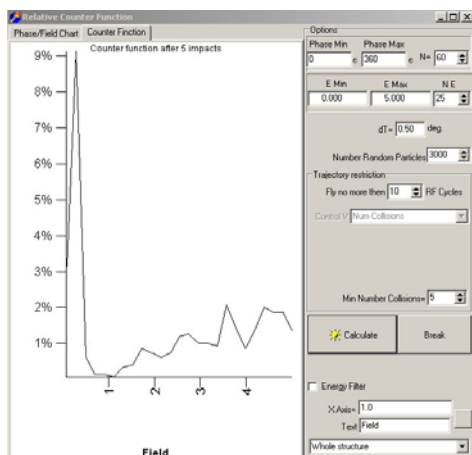


Рис.4. Процентное соотношение числа электронов, сохраняющихся в структуре спустя заданное число СВЧ-периодов к первичному числу электронов при различных уровнях напряженности электрического поля

Результаты исследования отдельных траекторий движения электронов показали, что при уровнях поля до 16 МВ/м в структуре присутствуют нестабильные мультипакторные траектории, как показано на Рис.5.

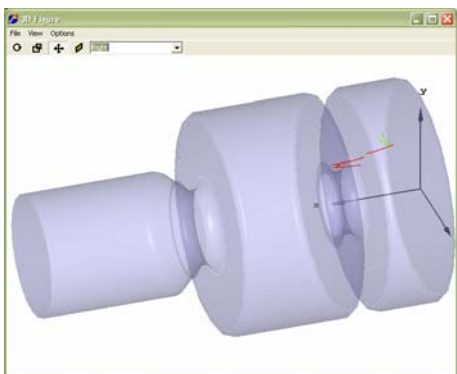


Рис.5. Пример нестабильной траектории движения электрона при уровне поля до 16 МВ/м

Также при уровнях поля до 16 МВ/м в структуре наблюдаются стабильные траектории в области скруглений целой ячейки резонатора, Рис.6.

Энергия соударения электрона с поверхностью в этом случае составляет 60...70 эВ. Характер движения электронов и значение их энергии соударения с поверхностью свидетельствуют о возможности возникновения в данной области устойчивого двухточечного мультипакторного разряда первого порядка.

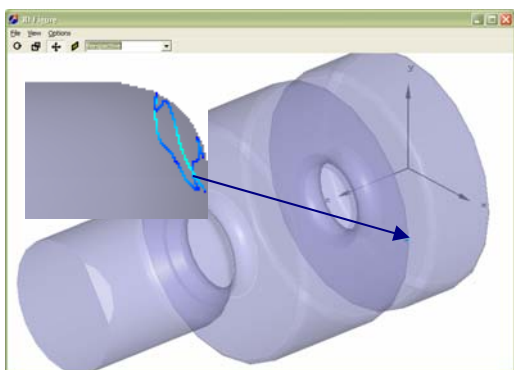


Рис.6. Пример резонансной траектории движения электрона при уровне поля до 16 МВ/м в области скруглений ячейки резонатора

При уровнях поля более 16 МВ/м наблюдаются устойчивые резонансные траектории в области перехода между ускоряющим резонатором и волноводом, Рис.7.

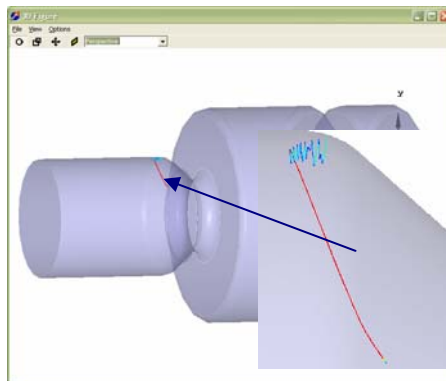


Рис.7. Пример резонансной траектории в области перехода между ускоряющим резонатором и волноводом при уровне поля 27,25 МВ/м (2,5)

Энергия соударения электронов с поверхностью составляет порядка 200...300 эВ, что приходится на пиковое значение коэффициента вторичной электронной эмиссии меди, а следовательно, возникновение мультипакторного разряда имеет большую вероятность.

### 3. РАСЧЕТ С УЧЕТОМ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Для компенсации сил пространственного заряда и достижения максимальной величины поперечного эмиттанта пучка в СВЧ-пушках применяется внешнее магнитное поле, которое оказывает существенное влияние на движение электронов в структуре, а следовательно, и на развитие мультипакторного разряда.

При расчете мультипакторного разряда необходимо учитывать влияние внешнего магнитного поля. С этой целью в программе MultP-M был создан дополнительный модуль наложения внешнего магнитного поля. Распределение внешнего магнитного поля так же, как и распределение ЭМ-полей, импортируется в виде стандартного текстового файла.

В фотоинжекторе PIZ рассмотрено влияние внешнего магнитного поля, создаваемого магнитом, расположенным в области волновода. Расчет проводился для конструкции с магнитом, создающим поле 0.16 Тл, Рис.8.

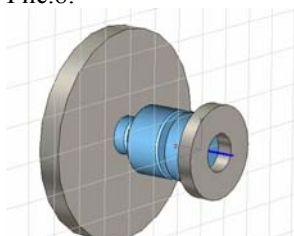


Рис.8. Конструкция инжекторного резонатора PIZ с магнитом в области волновода

Исследование мультипакторных траекторий с учетом внешнего магнитного поля показало, что сильное магнитное поле изменяет траекторию движения электронов в области перехода между ускоряющим резонатором и волноводом и предотвращает развитие мультипакторного разряда в данной области.

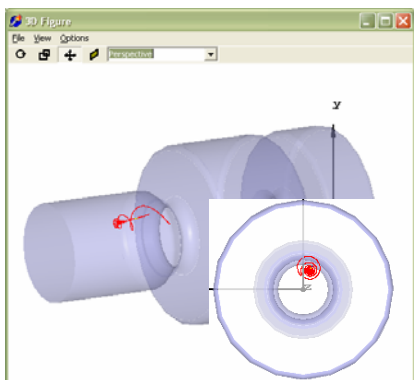


Рис.9. Пример траектории движения электрона в области перехода между ускоряющим резонатором и волноводом при уровне поля 27,25 МВ/м (2,5) и внешнем магнитном поле

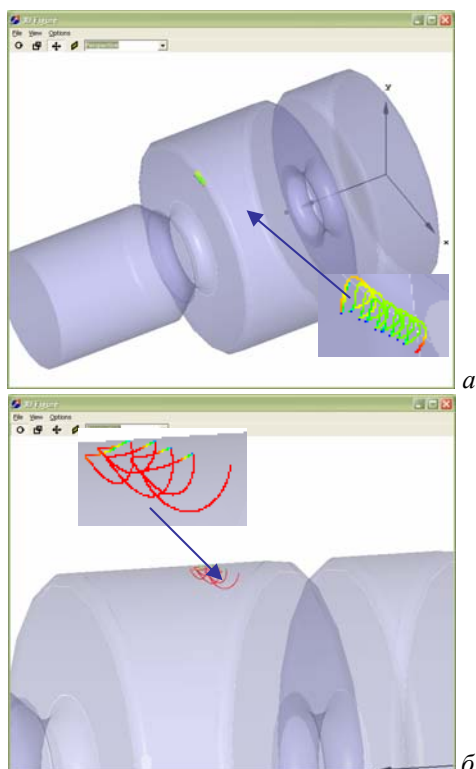


Рис.10. Примеры резонансных траекторий в области целой ячейки резонатора с учетом внешнего магнитного поля: 13,6 МВ/м (1,252) (а); 15,0 МВ/м (1,375) (б)

На Рис.9 представлена траектория движения электрона в структуре с внешним магнитным полем. На-

чальные параметры расчета для представленной траектории идентичны траектории, показанной на Рис.6.

Из Рис.9 видно, что сильное магнитное поле закручивает электрон и способствует затуханию движения, а следовательно, предотвращает развитие мультипакторного разряда. Таким образом, применение внешнего магнитного поля позволяет предотвратить развитие мультипакторного разряда в области перехода между ускоряющим резонатором и волноводом.

Однако исследование структуры с учетом внешнего магнитного поля при уровнях поля менее 16 МВ/м по-прежнему показывает наличие стабильных траекторий в области целой ячейки ускоряющего резонатора, Рис.10.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет мультипакторного разряда в фотонинжекторе РИТЗ показал, что в структуре возможно возникновение мультипакторного разряда в широком диапазоне уровней напряженности электрического поля. Мультипакторный разряд низких порядков может возникать в области целой ячейки резонатора и в области перехода между ускоряющим резонатором и волноводом.

Показано, что расположение магнита в области волновода эффективно для подавления мультипакторного разряда в данной области, однако не вносит существенного влияния на мультипакторный разряд, возникающий в области целой ячейки резонатора, и разряд в этой области может являться проблемой при работе устройства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Jang-Hui Han, Klaus Flottmann. Single-side electron multipacting at the photocathode in rf guns // *Phys. Rev. ST Accel. Beams* 11. 2008, p.013501.
2. M.A. Gusarova, V.I. Kaminskiy, L.V. Kravchuk, et al. Evolution of 3D simulation multipacting code MultP // *Problems of Atomic Sciences and Technology. Series "Nuclear Physics Investigations"*. 2008, №3(49), p.123-127.
3. V. Baglin, Y. Bozhko, O. Gröbner, et al. The secondary electron yield of technical material and its variation with surface treatments // *Proc. of EPAC 2000*. Vienna, Austria, 2000, p.217-221.

Статья поступила в редакцию 07.09.2009 г.

## MULTIPACTOR DISCHARGE IN ACCELERATING CAVITIES WITH EXTERNAL MAGNETIC FIELD SIMULATION

*M.A. Gusarova, M.V. Lalayan, S.V. Kutsaev, I.V. Isaev, R.O. Bolgov*

Numeric simulation results of multipactor discharge in PITZ photoinjector cavity with external magnets are presented. 3D simulation was done using MultP-M code. Cavity dangerous areas and field levels causing the discharge are revealed. Multipactor electrons trajectories are shown and analyzed.

## РОЗРАХУНОК МУЛЬТИПАКТОРНОГО РОЗРЯДУ В ПРИСКОРЮВАЛЬНИХ РЕЗОНАТОРАХ З ВРАХУВАННЯМ ЗОВНІШНЬОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ

*M.A. Gusarova, M.V. Lalayan, S.V. Kutsaev, I.V. Isaev, R.O. Bolgov*

Наведено результати тривимірної моделювання мультипакторного розряду в прискорювальних резонаторах фотокатода РИТЗ з врахуванням зовнішнього магнітного поля. Розрахунок проводився з використанням програми MultP-M. Виявлено небезпечні рівні прискорювального поля і області, піддані мультипакторному розряду. Наведено приклади можливих резонансних траекторій.