

УДК 621.384.6

ДИНАМИКА ПУЧКОВ В УСКОРЯЮЩЕЙ СЕКЦИИ И ИНЖЕКТОРЕ ЭЛЕКТРОНОВ ЛУЭ 10-СМ ДИАПАЗОНА НА ЭНЕРГИИ 3 И 10 МэВ

В. А. Дворников, И. А. Кузьмин, И. С. Щедрин

Московский инженерно-физический институт (государственный университет), Москва

Рассмотрена система инжектор – ускоряющая секция на основе круглого диафрагмированного волновода. Энергия инжекции 70 кэВ, ток в импульсе попеременно 300 и 100 мА регулируется напряжением на сетке, расположенной вблизи катода. Энергия 10 МэВ достигается на частоте 2856 МГц при токе 100 мА, энергия 3 МэВ достигается на частоте 2857 (или 2854 МГц) при токе 300 мА. Импульсная мощность питающего клистрона 5 МВт.

Electron gun with DLWG as accelerating structure is described. Injecting energy is 70 keV, pulse electron currents are alternately 300 and 100 mA with regulation by a grid near the cathode. Energy of 10 MeV is obtained at 2856 MHz with a pulse current of 100 mA, and energy of 3 MeV is obtained at 2857 (or 2854 MHz) with a pulse current of 300 mA. Pulse power klystron is 5 MW.

Была поставлена задача рассчитать ускоряющую систему на основе круглого диафрагмированного волновода (КДВ) линейного ускорителя электронов совместно с инжектором электронов, на выходе которой импульсы ускоренных электронов поочередно имеют энергию 10 МэВ при токе 100 мА и 3 МэВ при токе 300 мА. Регулировка энергии ускоренных электронов осуществляется изменением частоты СВЧ-питания примерно на + 1 МГц, а ток инжекции регулируют изменением импульсного напряжения на сетке катода. В качестве источника СВЧ-питания выбран клистрон с импульсной мощностью 5 МВт и рабочей частотой 2856 МГц, что позволяет задавать на входе в пределах одиночного импульса любую частоту СВЧ-питания в пределах рабочей полосы клистрона, равной приблизительно ± 2 МГц.

Инжектор электронов представляет собой трехэлектродную систему: катод, сетка и анод. Рабочее напряжение на катоде 70 кВ. Напряжение на сетке может изменять ток на выходе инжектора в пределах от нуля до 1,2 А в импульсе.

В таблице приведены основные параметры и характеристики ускоренного пучка.

Расчет инжектора электронов проводился при помощи программы PARMELA при условии, что сетка катода находилась в плоскости управляющего катодного электрода. Цилиндрическая форма катодного электрода и форма анода подбирались исходя из требования расположения кроссовера пучка на выходе на расстоянии не менее 50 мм от плоскости анода. Примерная форма электродов и динамика пучка приведены на рис. 1. Расчеты показали, что диаметр пучка равен 3 мм в кроссовере, расположенном на расстоянии более 50 мм от плоскости анода.

Длина ускоряющего КДВ, законы изменения напряженности поля и фазовой скорости выбирались таким образом, чтобы обеспечить оба режима ускорения в пределах ширины

Характеристика, единица измерения		Величина
Режим 1	Энергия, МэВ	10
	Импульсный ток, мА	100
Режим 2	Энергия, МэВ	3
	Импульсный ток, мА	300
Импульсная мощность СВЧ-питания, МВт		5
Рабочая частота режима 1 СВЧ-питания, МГц		2856
Напряжение инжекции, кВ		70
Импульсный ток инжекции, А		0–1,2
Длительность импульса, мкс		10
Диаметр пучка в кроссовере, мм		3

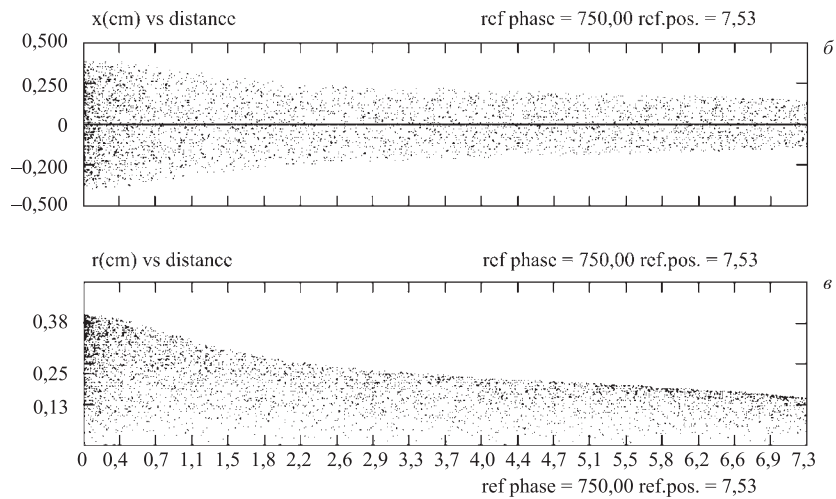
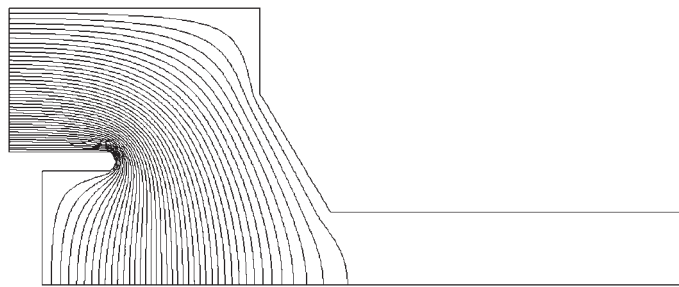


Рис. 1. Картина электростатического поля (а) и динамика движения электронов в инжекторе (б, в)

рабочей частотной полосы клистрона. Рабочий вид колебаний в КДВ выбран $2\pi/3$. Численное моделирование в продольном и поперечном направлениях с учетом объемного заряда пучка электронов и нагрузки током проводилось по программам PARMELA и SUPERFISH.

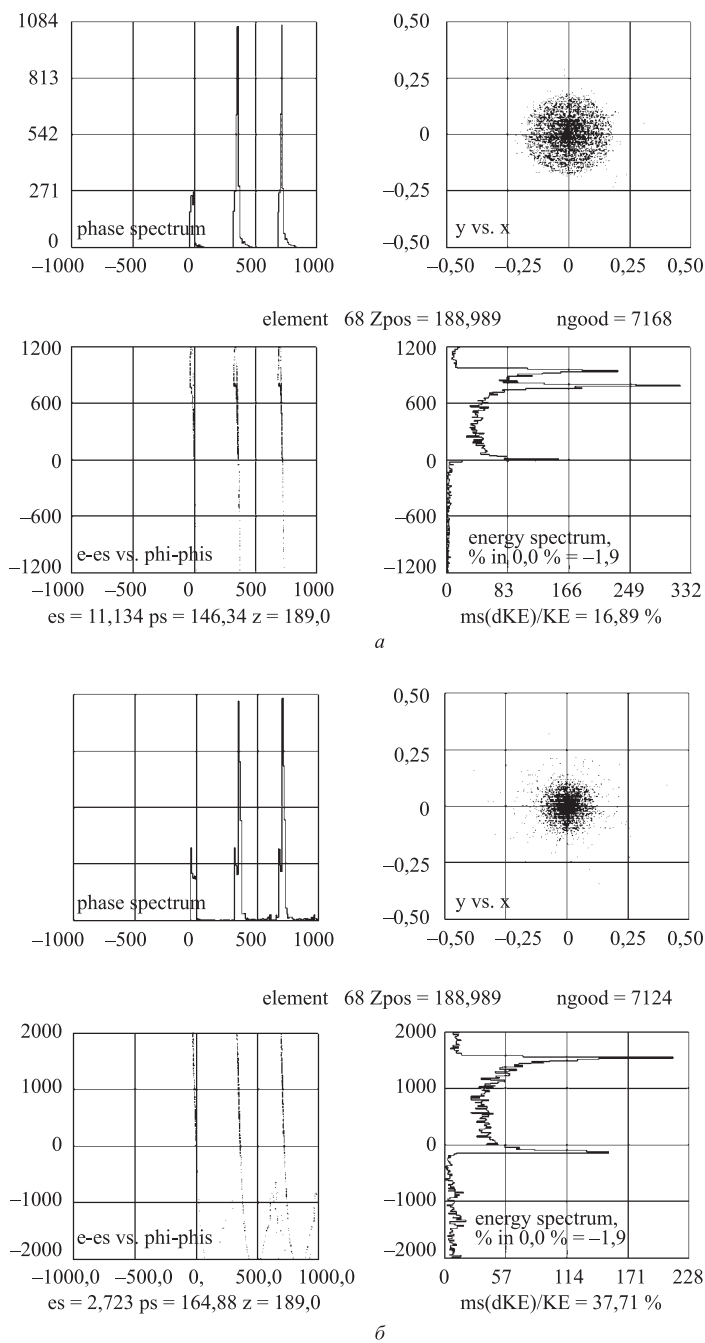


Рис. 2. Выходные характеристики ускорителя: а) режим 1 — энергия 10 МэВ, ток 100 мА; б) режим 2 — энергия 3 МэВ, ток 300 мА

Расчеты показали, что реализовать оба режима попеременно в соседних импульсах возможно в секции длиной 55 ячеек или 1,92 м, с переменным a/λ по длине от 0,165 до 0,107, с переменной относительной фазовой скоростью волны от 0,487 до 0,9985, переменной напряженностью поля на оси от 27,8 до 77,5 кВ/см в максимуме. На выходе секции неизрасходованная мощность примерно 3 МВт (из 5 МВт на входе) выводится через ТТВ в поглощающую нагрузку. Режим 2 реализуется на данной секции при изменении рабочей частоты СВЧ-питания на + 1,1 МГц.

На рис. 2 приведены данные расчета режимов работы инжектора электронов совместно с ускоряющей секцией. Фокусировка осуществляется двумя соленоидами, последовательно расположенными на секции с магнитной индукцией на оси 0,13 Тл. Длина каждого 800 мм, зазор между соленоидами 150 мм.

Авторы выражают благодарность В. В. Еляну и Б. В. Бехтеву за постановку задачи, активное участие в поисках оптимального ее решения и за поддержку ее реализации.

Работа выполнена также при поддержке Минобрнауки РФ (грант № Т02-7.3-910).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Завадцев А. А. и др.* Проект промышленного ускорителя электронов на 10 МэВ // XVII Совец. по ускорителям заряженных частиц, ИФВЭ, Протвино, 2000. С. 95.
2. *Дворников В. А., Калужный В. Е., Кузьмин И. А.* Метод настройки КДВ с переменными размерами // Научная сессия МИФИ-2001. М., 2001. Т. 7. С. 139–140.
3. *Грызлов А. В. и др.* Технологический ускоритель электронов с мощностью пучка до 25 кВт // Тр. IV Науч. семинара памяти В. П. Саранцева. Дубна, 2002. С. 176–183.