

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
В РЕЛЯТИВИСТСКОМ КАРСИНОТРОНЕ

Ю. Ф. Бондарь, С. И. Заворотный, А. Л. Ипатов,  
Н. И. Карбушев, Н. Ф. Ковалев, О. Т. Лоза,  
Г. П. Мхеидзе, А. А. Овчинников, А. А. Рухадзе,  
Л. Э. Цопп

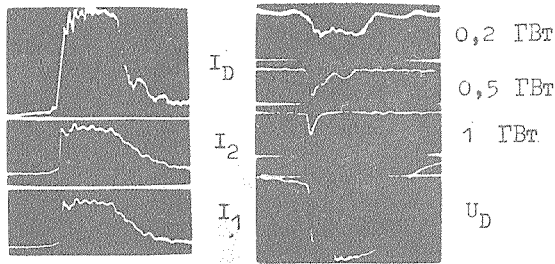
УДК 621.384.64

Исследуется излучение релятивистской ЛОВ - карсинотрона - в диапазоне  $\lambda \approx 3$  см при мощности  $P \approx 1$  ГВт. Обнаружен случайный характер распределения мощности излучения в идентичных условиях и тенденция к уменьшению длительности импульсов СВЧ с ростом мощности.

СВЧ излучение, генерируемое при взаимодействии импульсного релятивистского электронного пучка (РЭП) с медленными волнами замедляющих систем, экспериментально изучается с 1970 г., /1 - 3/. К настоящему времени получено излучение мощностью  $P \approx 1$  ГВт (КПД  $\eta \approx 25\%$ , длина волны  $\lambda \approx 3,2$  см) /3/, однако характеристики черенковских генераторов по существу не исследованы. В настоящем сообщении изложены некоторые результаты экспериментального исследования релятивистской лампы обратной волны (ЛОВ) - карсинотрона.

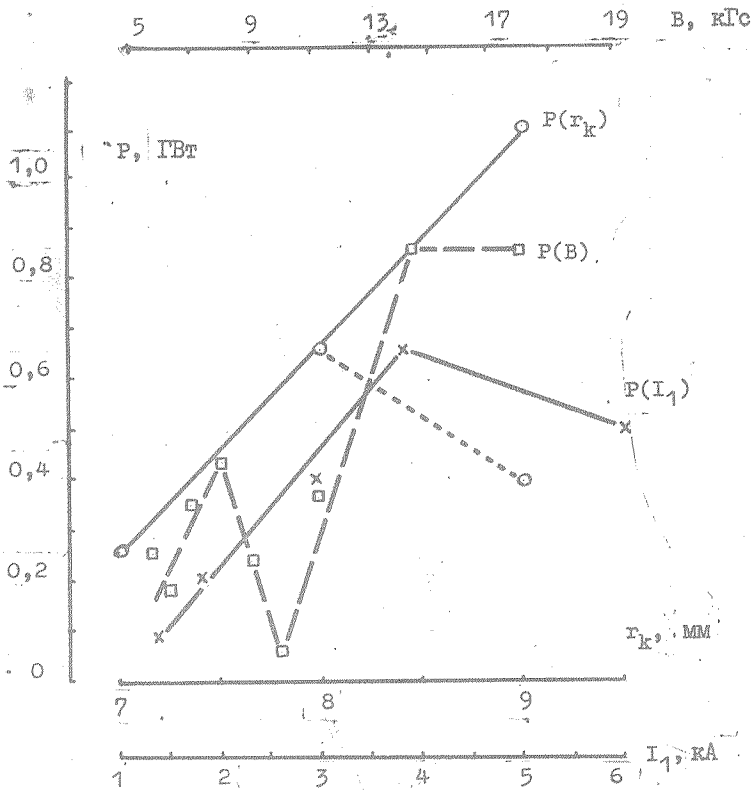
Схема эксперимента с использованием ускорителя "Терек-IP" описана ранее /4/. Параметры пучка: энергия электронов  $E \approx 1,1$  МэВ, ток пучка через карсинотрон  $I = I-7$  кА, длительность импульса  $\tau = 60 - 100$  нс. В эксперименте измерялись: напряжение на диоде  $U_D$ , ток диода  $I_D$ , токи  $I_1$  и  $I_2$  на входе и выходе карсинотрона и СВЧ мощность  $P$ . Электродинамическая система пространства взаимодействия представляет собой отрезок круглого гофрированного волновода. Период гофра  $l = 1,67$  см и

его средний радиус  $R_0 = 1,5$  см обеспечивают резонансное взаимодействие пучка с первой обратной пространственной гармоникой основной аксиально-симметричной волны Е-типа. Продольная скорость электронов в зависимости от ведущего магнитного поля  $B = 6-18$  кГс и эффективного поперечного электростатического поля  $E_{\perp \text{eff}} = (0,16 - 1,3)$  МВ/см [4] изменялась в пределах  $\beta = 0,6-0,95$ . Стартовый ток возбуждения системы тонкостенным трубчатым пучком  $/2,5/I_{\text{st}} = 0,4 - 0,8$  кА. Типичные осциллограммы  $I_D, I_1, I_2, P$  с максимальным значением  $P = 0,2$  ГВт и  $U_D$ , полученные в одинаковых условиях и синхронизированные, приведены на рис. 1; для сравнения там же представлены сигналы  $P$  с максимальной  $P = 0,5$  и  $1$  ГВт. Обнаружена тенденция уменьшения длительности СВЧ импульса с увеличением генерируемой мощности.



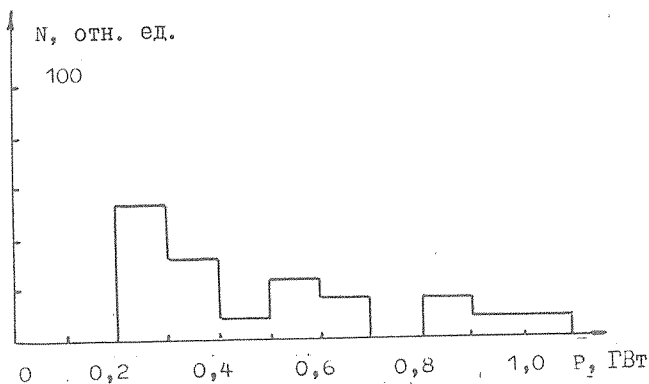
Р и с. 1. Осциллограммы тока диода  $I_D$ , токов на входе и выходе карсинотрона  $I_1$  и  $I_2$ , СВЧ мощности  $P$  с максимальными значениями  $0,2, 0,5$  и  $1$  ГВт и напряжения на диоде  $U_D$ .

Зависимость мощности  $P$  от среднего радиуса пучка  $r \approx r_k$  (радиус катода), построенная по максимальным значениям  $P$ , представлена на рис. 2 (кривая  $P(r_k)$ ). С увеличением  $r_k$  от  $7$  до  $8$  мм  $P$  увеличилась от  $260$  до  $660$  МВт. При  $r_k = 9$  мм среднее значение мощности  $P \approx 400$  МВт, хотя в нескольких импульсах  $P$  составляла  $0,9-1,1$  ГВт. КПД растет от  $\approx 6\%$  ( $r_k = 7$  мм) до  $25\%$  ( $r_k = 9$  мм,  $P \approx 1,1$  ГВт). При  $r_k = 9$  мм внешний радиус пучка  $r_n \approx r_k + (2mc^2/e)\gamma E_{\perp \text{eff}}$  имеет значение, близкое к внутреннему радиусу карсинотрона, и возможно попадание пучка на гофры.



Р и с. 2. Зависимости СВЧ мощности от радиуса катода  $r_k$ , магнитного поля  $B$  ( $\square$ ) и тока  $I_1$  ( $\times$ )

На рис. 3 дана зависимость количества импульсов  $N_i$  от мощности  $P$  ( $B = 14-18$  кГс,  $r_k = 9$  мм). При  $r_k = 7$  и 8 мм разброс существенно меньше и не превышает 100 МВт. По характеру распределения  $N(P)$  можно предположить, что существуют факторы, не позволяющие достичь в каждом импульсе максимального значения мощности. Этими факторами могут быть, например, образование коллекторной плазмы, СВЧ-пробой в карсиотроне, смещение катода относительно анода при включении импульсного магнитного поля.



Р и с. 3. Зависимость количества импульсов  $N$  от СВЧ мощности  $P$

Зависимость  $P$  от  $I_1 = I_2$  для  $r_k = 8$  мм и  $V = 16,5$  кГс представлена на рис. 2 (кривая  $P(I_1)$ ). При  $I_1 = 1$  кА имеем стабильную генерацию ( $P \approx 100$  МВт). С ростом тока мощность возрастает, достигая максимального значения  $P \approx 660$  МВт при  $I_1 \approx 4$  кА, и затем уменьшается при дальнейшем увеличении  $I_1$ . Имеется тенденция смещения максимума кривой  $P(I_1)$  вправо при уменьшении  $r_k$ . Уменьшение  $P$  при  $I_1 > 4$  кА можно объяснить проявлением действия квазистационарных полей, связанных с высокочастотным пространственным зарядом.

Зависимость мощности от магнитного поля (рис. 2, кривая  $P(V)$ ) характеризуется максимумом при  $V \approx 8$  кГс и минимумом при  $V \approx 10$  кГс. Провал на кривой  $P(V)$  можно объяснить переизлучением рабочей волны в первую либо вторую быструю циклотронную волну электронного пучка  $n\omega_H \approx k_0 v_{\parallel} c$  ( $k_0 = 2\pi/\lambda$ ). Уменьшение  $P$  при  $V \leq 7 - 8$  кГс объясняется уменьшением тока  $I_I$ .

Поступила в редакцию  
29 июня 1981 г.

### Л и т е р а т у р а

1. J. A. Nation, Appl. Phys. Lett., 17, 491 (1970).

2. Н. Ф. Ковалев и др., в сб. "Релятивистская высокочастотная электроника", изд. ИФФ АН СССР, г. Горький, 1979 г., с. 76.
3. V. S. Ivanov et al., Proc. III Int. Topical Conf. on High Power Electron and Ion Beams, v. II, p. 697, Novosibirsk, 1979.
4. Ю. Ф. Бондарь и др., Препринт ФИАН № 177, 1980 г.
5. Л. С. Богданкевич, М. В. Кузелев, А. А. Рухадзе, УФН, 133, 3 (1981).