

Харьюзов Р.В.

СЗ45Н

Б1-9-87-456

5793/87

3754

+



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б 1-9-87-456

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 87.

Объединенный институт ядерных исследований
Лаборатория нейтронной физики

Р. В. Харьюзов

Б1-9-87-456

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ ПУШКИ ЭПЛ
ДЛЯ ЛИНЕЙНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ ЛИУ-30

Рукопись поступила
в издательский отдел
.. 22. 06. 1987 г.

Дубна, 1987 г.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Введение

Наладочным работам на линейном индукционном ускорителе ЛИУ-30 /1/ неизменно сопутствуют недостаточная долговечность эмиттера электронов и неестественно высокие требования к "искусству оператора" как при получении заданных параметров пучка на выходе электронной пушки ЭП /2/ после замены эмиттера, так и при дальнейшей его проводке сквозь ускорительный тракт. Выявлению возможных причин этого на основе имеющихся экспериментальных данных и посвящена предлагаемая работа.

Исходная ситуация

На оксидный термоэмиттер, нагреваемый вольфрамовой спиралью с регулируемым током $I_{\text{нак}}$, периодически подаётся отрицательный синусоидальной формы импульс высокого напряжения через импульсный повышающий автотрансформатор /3/ с коэффициентом трансформации $K=II$ от источника регулируемого импульсного напряжения $U_{\text{имп}}$. Выбор необходимой величины $U_{\text{имп}}$ от нуля до максимального значения происходит за счет плавного изменения зарядного напряжения питающего выпрямителя $U_{\text{зар}}$. Оценка качества работы эмиттера ведётся индукционным датчиком тока $I_{\text{дт}}$ на удалении 36 см от выходного отверстия диаметром 60 мм в заземлённом аноде пушки. Таким образом, стандартный набор данных при работе ЭП включает в себя величины $I_{\text{нак}}$, $U_{\text{зар}}$, $U_{\text{имп}}$, $I_{\text{дт}}$, $K = II$.

Измерения энергии электронов и простейшая модель пушки

Более полными являются немногочисленные (около сотни) наборы, дополненные максимальным значением энергии электронов E , измеренным 90-градусным магнитным анализатором при испытаниях ЭП.

Их данные и используются при дальнейших рассуждениях, которых можно было бы избежать, имея в ЭИЛ датчики тока эмиссии и амплитуды высокого напряжения на эмиттере, т.е. располагая вольт-амперными характеристиками пушки.

Первоначальная попытка воссоздать последние, пользуясь упомянутой сотней дополненных наборов, успехом не увенчалась.

Поскольку конструкция электродов ЭИЛ рассчитана для энергии 300 кэВ, по четырём имеющимся для этой энергии экспериментальным точкам была найдена зависимость коэффициента трансформации K от тока $\gamma_{дт}$, коэффициент трансформации холостого хода $K_0 = 18$ и четыре значения кажущегося внутреннего сопротивления на выходе импульсного автотрансформатора $R_i(\gamma)$ при измеренных значениях токов (рис. I, кривые I и IO). Таким образом, оказалось возможным воспользоваться простейшей моделью, составленной из "идеального" автотрансформатора с коэффициентом трансформации K_0 и его нагрузки из двух последовательно включенных резисторов - $R_i(\gamma)$ и $R_{эл}$. Последнее определяется как отношение энергии к току пучка в максимуме ($\gamma_{эл}$)

$$R_{эл} = \frac{|E|}{\gamma_{эл}}$$

Пиковое значение энергии электронов на выходе пушки

$$E = U_{мин} \cdot K_0 - \gamma_{эл} \cdot R_i(\gamma)$$

где $\gamma_{эл} \cdot R_i(\gamma) = U_{ат}$ -- падение напряжения на автотрансформаторе, а $R_i(\gamma) = \frac{K_0 U_{мин} - |E|}{\gamma_{эл}}$ при $E = 300$ кэВ.

Фактическое значение коэффициента трансформации при заданной энергии связано с током выражением

$$K = \frac{K_0 |E|}{U_{ат} + |E|} = \frac{K_0 |E|}{\gamma_{эл} \cdot R_i(\gamma) + |E|} \quad (\text{см. рис. I, кривые 2+9})$$

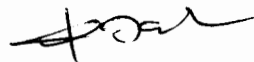
Обсуждение результатов

При нанесении экспериментальных точек (рис. 2) на семейство вольт-амперных характеристик, полученных с помощью модели, видно, что ток $I_{дт}$ в каждом случае, кроме режима $E = 300$ кэВ, ниже ожидаемого $I_{эл}$. Назвав отношение первого ко второму прозрачностью анодного отверстия и обозначив буквой Π , можем убедиться, что прозрачность зависит от энергии и возрастает от 0,4 до единицы при увеличении энергии от ста до трехсот кэВ (рис. 3). Таким образом, даже при номинальной пиковой энергии 300 кэВ в каждой посылке по мере нарастания напряжения в импульсе (импульс имеет колоколообразную форму) происходит бомбардировка анода электронами с удельной пиковой мощностью порядка 500 кВт. Вероятность распыления материала анода возрастает по мере уменьшения пиковой энергии за счет снижения прозрачности. Это одна из возможных причин недолговечности эмиттера. Наблюдаемая в ЭПД резонансная зависимость $I_{дт}$ от $I_{нак}$ также может объясняться "нащупыванием" максимума прозрачности изменением нагрузки. Динамической же коллимацией на анодном отверстии можно было бы попытаться объяснить и ряд несоответствий расчетных и наблюдаемых особенностей проводки пучка в ЛМУ-30.

Приведённые на рис. 4,5 зависимости K от $R_{эл}$ иллюстрируют качественно пригодность модели. На рис. 4 для определения $R_{эл}$ использован ток датчика $I_{дт}$, здесь лишь обозначенные кружками 300-кэВные точки упорядочены. На рис. 5 практически весь массив расположен вдоль искомой линии с очевидными ошибками при измерениях и вычислениях.

На рис. 6 приводится характерный пример "искусства оператора", из которого следует, что стремление увеличить ток $\mathcal{I}_{\text{дт}}$ (кривая I) варьированием $\mathcal{U}_{\text{имп}}$ и $\mathcal{U}_{\text{нак}}$ ведёт к изменениям энергии (например, от 240 до 300 кэВ) и окончательному выбору режима, существенно отличающегося от оптимального. В связи с этим остаётся надеяться, что во вновь создаваемой в настоящее время пушке большую часть недостатков ЭПИ удастся устранить.

Автор благодарен В.С.Кладнищину за подготовку анализатора, Л.А.Меркулову и С.Л.Платонову за труд по измерениям энергии электронов.



Литература

1. Вахрушин Ю.П., Матора И.М. УФН, 1973, т.110, вып. 1, с.115
2. Матора И.М., Меркулов Л.А. ОИЯИ, Р9-10670, Дубна, 1977.
3. Матора И.М., Метёлкин Ю.А., Сарвин Б.А. Д.С. 803020 /СССР/.
Опубликовано в ОИ, 1981, №5, с.199.

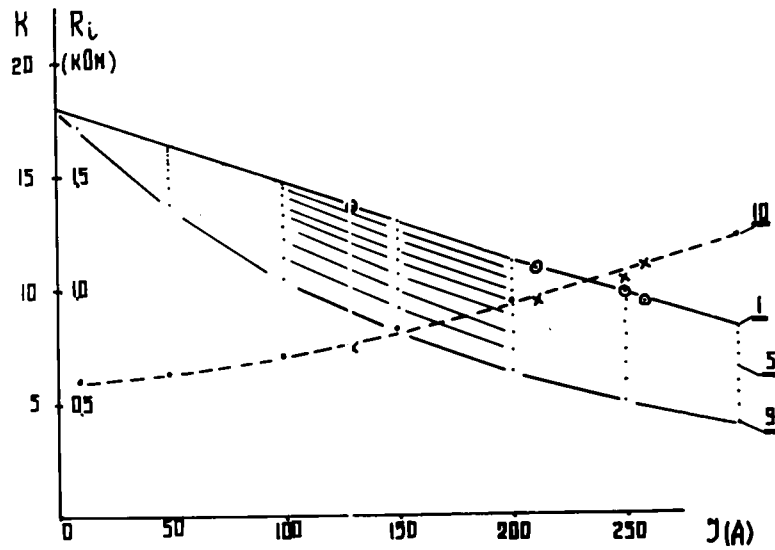


Рис. 1. Зависимости реально имеющего место коэффициента трансформации K автотрансформатора ЭПД от тока $I_{эл}$ для различных величин энергии в максимуме импульса напряжения. (1 - 300 кэВ, 2 - 280, 3 - 260, 4 - 224, 5 - 200, 6 - 175, 7 - 150, 8 - 125, 9 - 100).

Зависимость выходного внутреннего сопротивления от тока эмиссии $I_{эл}$ (кривая 10).

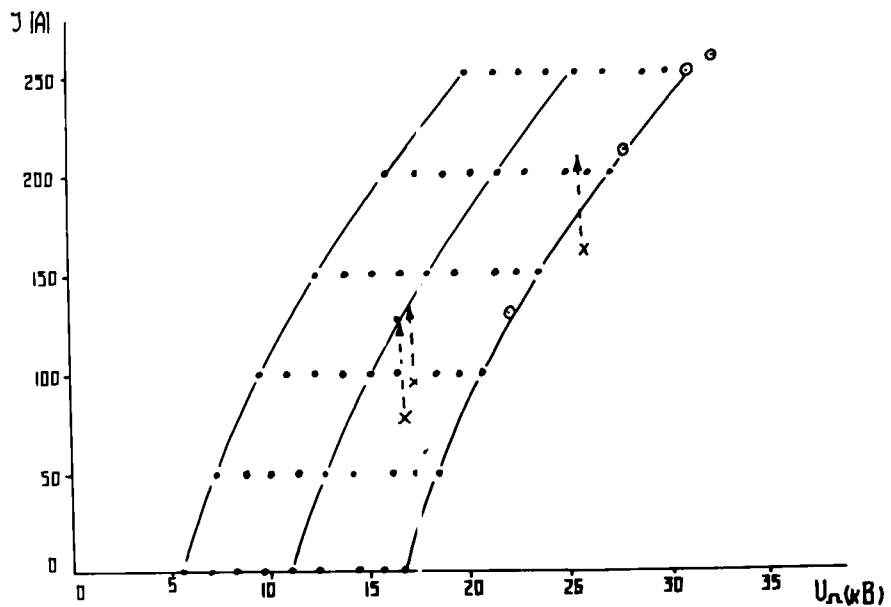


Рис. 2. Семейство вольт-амперных характеристик ЭПД.

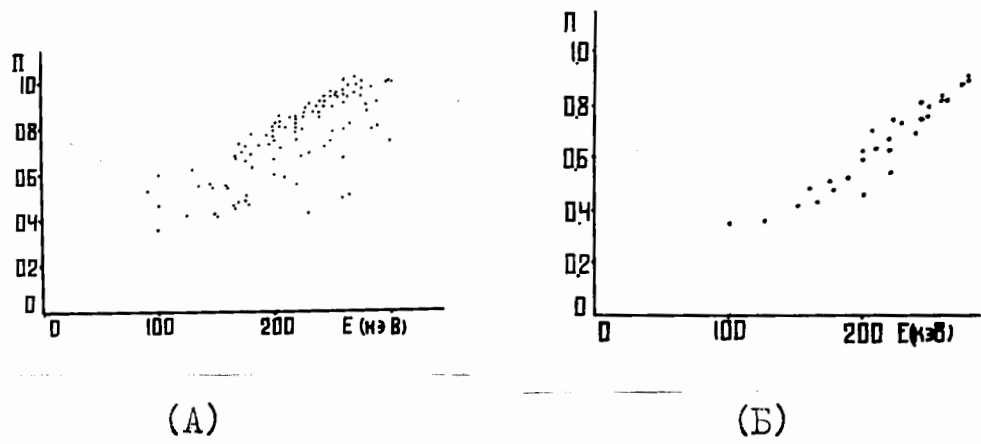


Рис. 3. Прозрачность анода Π не остаётся постоянной для электронов с различными энергиями E (А). Используя данные одного из циклов измерений, проведённых без замены эмиттера, можно убедиться, что прозрачность анода растёт примерно линейно с энергией (Б).

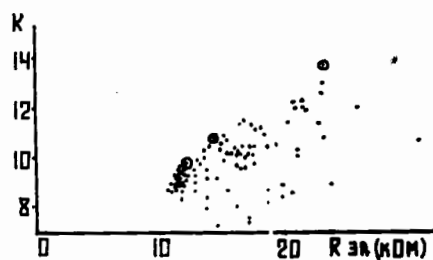


Рис. 4. Изменения коэффициента трансформации K наглядно (\odot) связаны с "сопротивлением пучка" лишь при энергии электронов 300 кэВ, если принять $R_{эл} = E / j_{дт}$

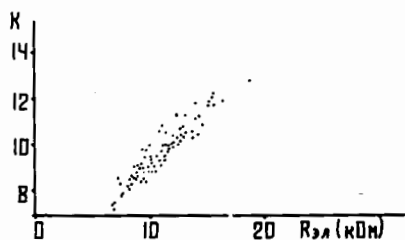


Рис. 5. Замена $j_{дт}$ на исправленное значение тока $j_{эл}$ уточняет характер связи вне зависимости от энергии.

Рис. 6. Иллюстрация "искусства оператора".

Увеличивая импульсное напряжение на первичной обмотке автотрансформатора U_{Γ} , оператор контролирует ток $I_{\Delta T}$ дт (нижний график).

В случае видимых отклонений $I_{\Delta T}$ дт от ожидаемого оператор варьирует ток подогревателя $I_{\text{нак}}$,

т.е. температуру эмиттера (точки $U_{\Gamma} = 25,5$ кВ и $U_{\Gamma} = 28$ кВ). Повышение температуры увеличивает ток $I_{\Delta T}$ (А), но ведёт к снижению энергии электронов E (кэВ) (верхний график).

Однако столь значительные снижения энергии могут быть объяснены лишь более значительными изменениями тока, представленными на среднем графике. Лишенный при повседневной работе двух верхних графиков, оператор получает от ЭВМ заниженную в Π раз величину тока (Π -прозрачность анода) и завышенное значение энергии, вычисляемое умножением U_{Γ} на Π . Так, в рабочей точке ($U_{\Gamma} = 30,7$ кВ) оператор фиксирует данные:

$I_{\Delta T} = 250$ А, $E = 337$ кэВ вместо $I_{\text{эл}} = 260$ А,

$E = 265$ кэВ, т.е. ошибка в определении энергии превышает 25%.

