

Ф и г. 2

мере энергия накопителя выбрана больше той, которая необходима для достижения скорости  $v_{пр}$ , так что и после достижения  $v_{пр}$  кольцо продолжает получать энергию, которая может привести к полному его расплавлению и даже испарению. Из табл. 2 видно, что  $v_{пр}$  при ускорении кольцевых проводников оказывается ниже  $v_{пр}$ , рассчитанной по формулам для определения предельной скорости перемещения тонкого листа [4], и ниже  $v_{пр}''$ , рассчитанной по формулам [3, 5] при условии воздействия на ускоряемый проводник плоской электромагнитной волны. Таким образом, при определении  $v_{пр}$  необходимо учитывать геометрию ускоряемого проводника и индуктора.

Поступила 12 V 1981

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бондалетов В. И., Иванов Е. И. Бесконтактное индукционное ускорение проводников до гиперзвуковых скоростей. — ПМТФ, 1975, № 5.
2. Бондалетов В. И., Иванов Е. И. Сверхвысокоскоростное аксиальное ускорение кольцевых проводников. — ЖТФ, 1977, т. 47, вып. 2.
3. Бондалетов В. И. Индукционное ускорение проводников. — ЖТФ, 1967, т. 37, вып. 2.
4. Кноффель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. М.: Мир, 1972.
5. Линхарт Дж. Ускорение макрочастиц до гиперскоростей. — В кн.: Физика высоких плотностей энергии / Под. ред. П. Кальдироды и Г. Кноффеля. М.: Мир, 1974.
6. Балтаханов А. М., Бондалетов В. И. Ускорение проводников в магнитном поле. — Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1980, № 3.
7. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции. М.: Наука, 1964.

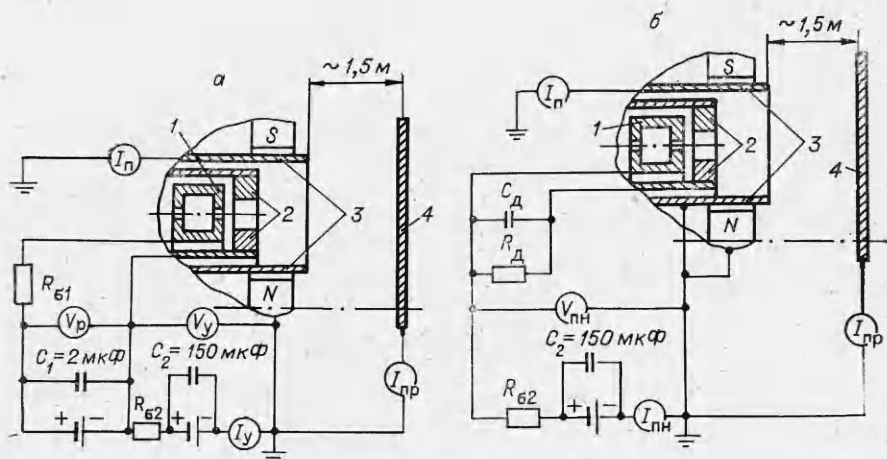
УДК 629.7.036.74

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО УСКОРИТЕЛЯ С АНОДНЫМ СЛОЕМ С ОДНИМ ИСТОЧНИКОМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

А. Ф. Коврижко, И. Н. Сафронов, А. В. Семенкин

(Калининград Моск. области)

Двухступенчатый ускоритель с анодным слоем (УАС), обладая высокой эффективностью ускорения, имеет достаточно сложную систему электропитания, состоящую из двух независимых источников питания [1—4]. Сложная система питания ограничивает область применения ускорителей. В данной статье приводятся результаты исследования работы двухступенчатого УАС с упрощенной схемой электропитания, содержащей один источник и  $RC$ -делитель. На фиг. 1 (1 — анод-парораспределитель, 2 — катоды первой ступени, 3 — катоды второй ступени — экраны полюсов магнитной системы, 4 — токоприемник) представлены схемы электропитания как с двумя (фиг. 1, а), так и с одним источником питания (фиг. 1, б).



Ф и г. 1

По схеме с одним источником разность потенциалов между анодом-парораспределителем и катодами 1-й ступени ( $U_p$ ) поддерживается с помощью делителя и стабилизируется емкостью. Стабилизация необходима, так как в УАС наблюдаются пульсации токов на электроды, что может приводить к значительным колебаниям напряжения  $U_p$ , ухудшению характеристик и смене режимов работы ускорителя [2].

Приближенную оценку параметров делителя  $R_d$  и  $C_d$ , обеспечивающих эффективную работу ускорителя, можно сделать из следующих выражений:

$$(1) \quad R_d \approx U_p / (I_e(U_p) - I_i(U_p));$$

$$(2) \quad C_d \geq \Delta I_p / \Delta U_p f,$$

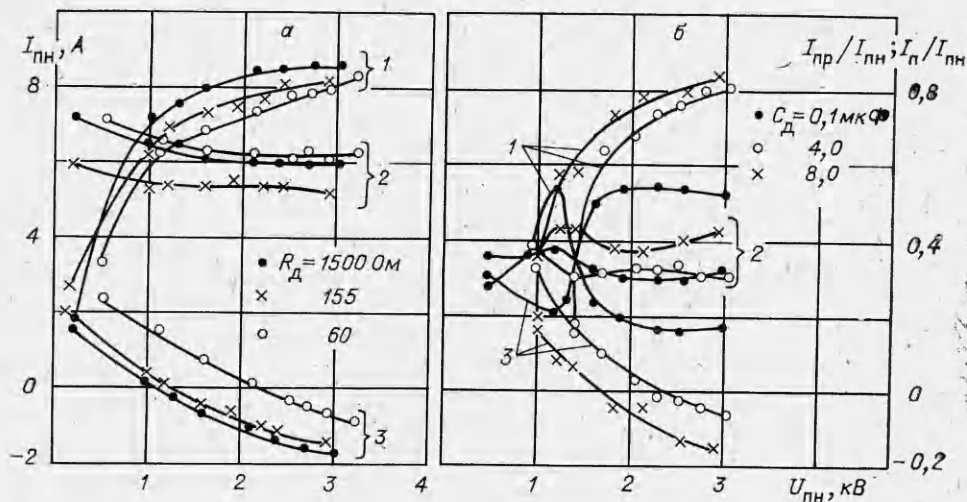
где  $I_e(U_p)$ ,  $I_i(U_p)$  — электронный и ионный токи на катоды 1-й ступени, определяемые экспериментально;  $\Delta I_p$ ,  $f$  — амплитуда и частота пульсаций тока в разряде;  $\Delta U_p$  — наибольшая амплитуда пульсаций разрядного напряжения, при которой сохраняется режим эффективного ускорения. Величины  $U_p$ ,  $\Delta U_p$  должны удовлетворять соотношениям

$$(3) \quad U_p + \Delta U_p \leq U_{p \max}, \quad U_p - \Delta U_p \geq U_{p \min},$$

где  $U_{p \max}$ ,  $U_{p \min}$  — верхняя и нижняя границы диапазона эффективной работы ускорителя по разрядному напряжению [3].

Эксперименты с упрощенной схемой питания (см. фиг. 1, б) проводились на модели двухступенчатого УАС, описанной в [3]. В качестве рабочего вещества использовался висмут. Источник электропитания представлял собой трехфазный мостиковый выпрямитель с пульсациями напряжения  $\leq 6\%$ , который шунтировался емкостью  $C_2 = 150$  мкФ, а в цепь его включалось балластное сопротивление  $R_{б2} = 50$  Ом для ограничения тока при коротком замыкании и пробоях. Этот же источник использовался и в схеме с двумя источниками (фиг. 1, а) для ускоряющей ступени. В первой (разрядной) ступени подключался аналогичный мостиковый выпрямитель, шунтированный емкостью  $C_1 = 2$  мкФ с балластным сопротивлением  $R_{б1} = 20$  Ом. Для данной модели параметры делителя  $R_d$  и  $C_d$ , найденные из (1)–(3), составили:  $R_d \geq 100$  Ом,  $C_d \geq 1$  мкФ при  $I_e - I_i \leq 1$  А,  $U_p \approx 100$ – $150$  В,  $\Delta I_p / I_p \approx 5 \cdot 10^{-2}$ ,  $I_p \approx 5$  А,  $f \approx 20$  кГц,  $U_{p \max} \approx 250$  В,  $U_{p \min} \approx 100$  В. Испытаны следующие значения параметров  $R_d$  и  $C_d$ :  $C_d = 0$ – $18$  мкФ,  $R_d = 60$ – $2 \cdot 10^4$  Ом ( $2 \cdot 10^4$  Ом — сопротивление измерительных цепей и изоляторов).

В процессе экспериментов измерялись ток и напряжение ускоряющей и разрядной ступеней УАС ( $I_y$ ,  $U_y$ ,  $I_p$ ,  $U_p$ ) в схеме с двумя источниками электропитания, полный ток и напряжение ускорителя ( $I_{пн}$ ,  $U_{пн}$ ) в схеме



Ф и г. 2

с делителем, а также ток на полюса ( $I_{\text{п}}$ ), ток на приемник ( $I_{\text{пр}}$ ) — ионный ток пучка в обеих схемах.

На фиг. 2 (1 —  $I_{\text{пр}}/I_{\text{пн}}$ , 2 —  $I_{\text{пн}}$ , 3 —  $I_{\text{п}}/I_{\text{пн}}$ , напряженность магнитного поля в рабочем зазоре ускорителя  $H = 160 \cdot 10^3$  А/м, давление в вакуумной камере  $p = (1,3-6,7) \cdot 10^{-5}$  гПа) показаны характерные вольт-амперные зависимости двухступенчатого УАС с одним источником электропитания при фиксированной емкости  $C_{\text{д}} = 4$  мкФ и различных сопротивлениях (фиг. 2, а) и при фиксированном значении сопротивления делителя  $R_{\text{д}} = 155$  Ом и различных емкостях (фиг. 2, б). Как показали исследования, изменение емкости в диапазоне  $C_{\text{д}} = 2-18$  мкФ при неизменных значениях  $R_{\text{д}} \geq 60$  Ом не приводит к существенному изменению характеристик (фиг. 2, б).

Ускорительный режим получен при всех значениях  $C_{\text{д}} \geq 2$  мкФ и различных сочетаниях  $R_{\text{д}}$ ,  $C_{\text{д}}$  ( $R_{\text{д}} = 60-2 \cdot 10^4$  Ом,  $C_{\text{д}} = 2-18$  мкФ).

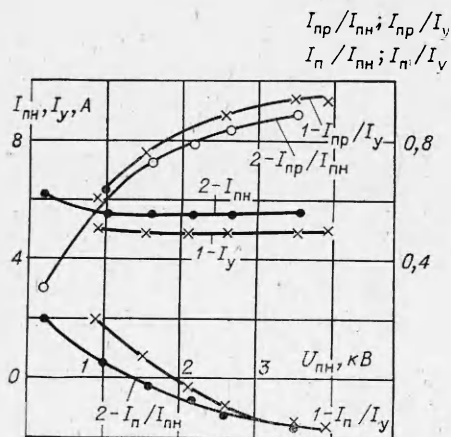
В диапазоне емкостей  $C_{\text{д}} = 0-2$  мкФ и различных сопротивлениях делителя  $R_{\text{д}}$  получить ускорительный режим не удалось (фиг. 2, б).

Сравнение характеристик УАС одних и тех же геометрических размеров при работе с двумя (фиг. 3, кривая 1) и с одним (фиг. 3, кривая 2) источниками электропитания показало практически совпадение основных параметров ускорителя:  $I_{\text{у}}$  и  $I_{\text{пн}}$ ,  $I_{\text{пр}}/I_{\text{у}}$  и  $I_{\text{пр}}/I_{\text{пн}}$ ,  $I_{\text{п}}/I_{\text{у}}$  и  $I_{\text{п}}/I_{\text{пн}}$  при  $C_{\text{д}} \geq 2$  мкФ. При этом энергетический КПД ускорителя, определяемый как отношение калориметрированной мощности пучка, приходящей

на приемник, к полной мощности, вкладываемой в разряд при работе с обеими схемами при соотношении токов  $I_{\text{пр}}/I_{\text{у}}$ ,  $I_{\text{пр}}/I_{\text{пн}} \approx 0,7-0,9$ , составил  $0,6-0,7$  при напряжениях  $U_{\text{пн}}$ ,  $U_{\text{у}} = 1-3$  кВ и токах  $I_{\text{пн}}$ ,  $I_{\text{у}} = 5-7$  А. Точность измерения энергетического КПД равна 10%.

При  $C_{\text{д}} < 2$  мкФ характеристики ускорителя в схеме с делителем существенно отличаются от характеристик УАС с двумя источниками электропитания и энергетический КПД резко падает ( $\sim 0,3$ ).

Мощность, выделяющаяся на сопротивлении в схеме с одним источником, невелика и лежит в диапазоне от 1 Вт при  $R_{\text{д}} = 2 \cdot 10^4$  Ом до



Ф и г. 3

200 Вт при  $R_d = 60 \text{ Ом}$  ( $U_p = 100\text{--}150 \text{ В}$ ,  $U_{\text{пн}} = 1\text{--}3 \text{ кВ}$ ,  $I_{\text{пн}} = 3\text{--}7 \text{ А}$ ).

Таким образом, проведенные эксперименты показали возможность работы двухступенчатого УАС с одним источником электропитания и RC-делителем практически без изменения основных характеристик ускорителя.

Поступила 22 X 1981

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин С. Д., Лесков Л. В., Козлов Н. П. Электрические ракетные двигатели. М.: Машиностроение, 1975.
2. Ерофеев В. С., Наумкин В. П., Сафронов И. И. Смена режимов и низкочастотные колебания в двухступенчатом ускорителе ионов с анодным слоем. — В кн.: Материалы 2-й Всесоюз. конф. по плазменным ускорителям. Минск: изд. Ин-та физики АН БССР, 1973.
3. Гришин С. Д., Ерофеев В. С. и др. Характеристики двухступенчатого ионного ускорителя с анодным слоем. — ПМТФ, 1978, № 2.
4. Ерофеев В. С., Наумкин В. П., Сафронов И. И. Смена режимов в ускорителе с анодным слоем и его оптимизация. — ПМТФ, 1981, № 1.

УДК 551.465.63

### ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ МИКРОКОНВЕКЦИИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛЕНКИ ВОДЫ

А. И. Лапшин, А. М. Трохан

(Москва)

Существование особой поверхностной пленки или скин-слоя на поверхности воды обнаружено в начале нынешнего века. Тогда же выявлена большая роль этой пленки в естественных гидрофизических процессах [1, 2]. Поверхностная пленка воды является динамическим образованием, она формирует зоны конвергенции и поверхностные вихри; за счет своей пониженной температуры она постоянно образует конвективные потоки, проникающие в глубину. Исследование структуры поверхностной пленки и ее взаимодействия с глубинными слоями воды требует привлечения самых различных методов. В последнее десятилетие наиболее интенсивно ведутся такие исследования путем лабораторного моделирования [3, 4].

В данной работе приведены результаты лабораторного исследования поверхностной микроконвекции, проведенного с помощью флуоресцентных красителей в сочетании с теневым методом. Флуоресцентный метод удобен тем, что при большой чувствительности к гидродинамическим процессам и регистрации он требует введения трассера в столь низкой концентрации, что практически удовлетворяет условиям пассивности и консервативности индикаторной примеси и в то же время позволяет выделить индивидуальные элементарные объемы жидкости в сложном гидродинамическом движении.

**Методика эксперимента.** Эксперименты выполнены с использованием прямоугольных кювет размером  $150 \times 150 \times 500 \text{ мм}^3$ , с прозрачными стенками из стекла. Для опытов использована дистиллированная и бидистиллированная вода. Для устранения прямого воздействия атмосферы и для демпфирования вертикального импульса движения поверхность воды была покрыта слоем 3—5 мм додекана — высокомолекулярного жидкого парафина, не растворимого в воде и не расторяющего воду. В качестве флуоресцентных красителей использованы флуоресцеин, родамин С, эозин и др. Разницы в их поведении при выполнении экспериментов обнаружено не было, поэтому здесь приведены результаты, полученные с флуоресцеином. Флуоресценция возбуждалась светом ртутной лампы через осветитель, оборудованный теплопоглощительной кюветой и набором сменных светофильтров. Регистрация наблюдаемых процессов проводилась фотографическим методом.

**Результаты и обсуждение.** Как показал эксперимент, внесенная в слой додекана капля раствора красителя при прохождении через поверхность воды образует кольцевой вихрь, который проникает в глубину, распадаясь при этом каскадным путем на множество вторичных кольце-