

УДК 621.455.32

В.Н. БАЛАШОВ, В.М. ДУРАЧЕНКО, М.И. КОШКИН*Государственное конструкторское бюро "Южное"***ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ СТАЦИОНАРНОГО ПЛАЗМЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Рассмотрено влияние геометрии магнитной системы (МС) на распределение магнитного поля в камере ионизации и ускорения (КИУ) в стационарном плазменном двигателе (СПД). Проведены оценки влияния геометрии МС на распределение магнитной индукции в КИУ. Проведен оценочный расчет МС СПД. Получено распределение магнитной индукции в КИУ и за срезом КИУ.

стационарный плазменный двигатель, магнитопровод, экран, распределение магнитной индукции**Введение**

Разработка СПД всегда приводит к исследованию влияния распределения магнитной индукции в КИУ на характеристики СПД, в частности, влияние положения максимума магнитной индукции, влияние на расходимость исходящего из камер ионизации и ускорения пучка плазмы, колебаний и т.д.

МС является одним из основных элементов в конструкции СПД. Конструкция магнитной системы определяет габариты и составляет основную часть массы СПД, а характеристики магнитного поля в значительной мере определяют рабочие параметры двигателя. Эффективность двигателя также зависит от конфигурации силовых линий магнитного поля, которое создает МС в КИУ. Поэтому неточности в проектировании конструкции МС на ранней стадии разработки СПД приводят к дорогостоящим экспериментальным доработкам двигателя. Особенно остро встает вопрос о проектировании магнитной системы в СПД малой мощности (малой геометрии), это связано с трудностями достижения распределения магнитной индукции в камере ионизации и ускорения с высоким градиентом.

Вопросу расчета магнитной системы в литературе уделялось недостаточное внимание, в основном экспериментально подбирались конфигурации силовых линий, распределение и максимальное значение магнитной индукции в КИУ.

1. Постановка задачи

Описание конструкции и принципа работы СПД широко представлены в литературе (см., например, в [1]). В современных наиболее отработанных конструкциях СПД МС выполнена в виде центральной и нескольких наружных катушек, магнитопровода с магнитными экранами, внешнего и внутреннего магнитополосов. Характерное распределение магнитной индукции в КИУ для таких конструкций представлено на рис. 3.

В настоящей статье приводится аналитическая оценка варианта изменения конструкции МС с целью уменьшения потребляемой электрической мощности, габаритов, массы при сохранении представленного выше характерного распределения магнитной индукции. С этой целью в конструкции МС предлагается изменить положение магнитных экранов и поместить их внутрь КИУ. Кроме того, введение внутренних магнитных экранов позволит в широком диапазоне варьировать как ширину зоны ионизации и ускорения (ЗИУ), так и ее положение вплоть до вынесения ее за пределы КИУ и более оптимально сконфигурировать эквипотенциальные линии в КИУ для фокусировки плазменного потока.

Работоспособность конструкции с внутренними магнитными экранами косвенно подтверждается исследованиями, приведенными в работах [2] (введение металлических колец на внутренних стенках

КИУ в ЗИУ), [3] (использование металлической КИУ).

СПД с предлагаемой конструкцией МС является гибридной моделью СПД и ДАС (так как часть канала в КИУ металлическая) с оптимизированной конфигурацией распределения магнитного поля в КИУ.

2. Расчетная модель

Расчет распределения магнитной индукции в СПД велся по упрощенной модели, представленной на рис. 1, в расчетной системе ANSYS. Исходными данными для расчета являлись:

- диаметр КИУ – 70 мм;
- материал МС – сталь 10880;
- катушка имеет – 474 витка;
- напряжение на катушке – 2 В.

Решалась плоскостная, симметричная задача.

Для сравнения расчет велся для двух вариантов конструкций МС, "А" – с внешним магнитным экраном (рис. 1, а) и "Б" – с внутренним магнитным экраном (рис. 1, б). Значение магнитной индукции определялось в точках, расположенных на линиях Y1, Y2, Y3, X1, X2.

Распределение магнитной индукции рассчитывалось при изменении размеров A1, A2, B1, B2.

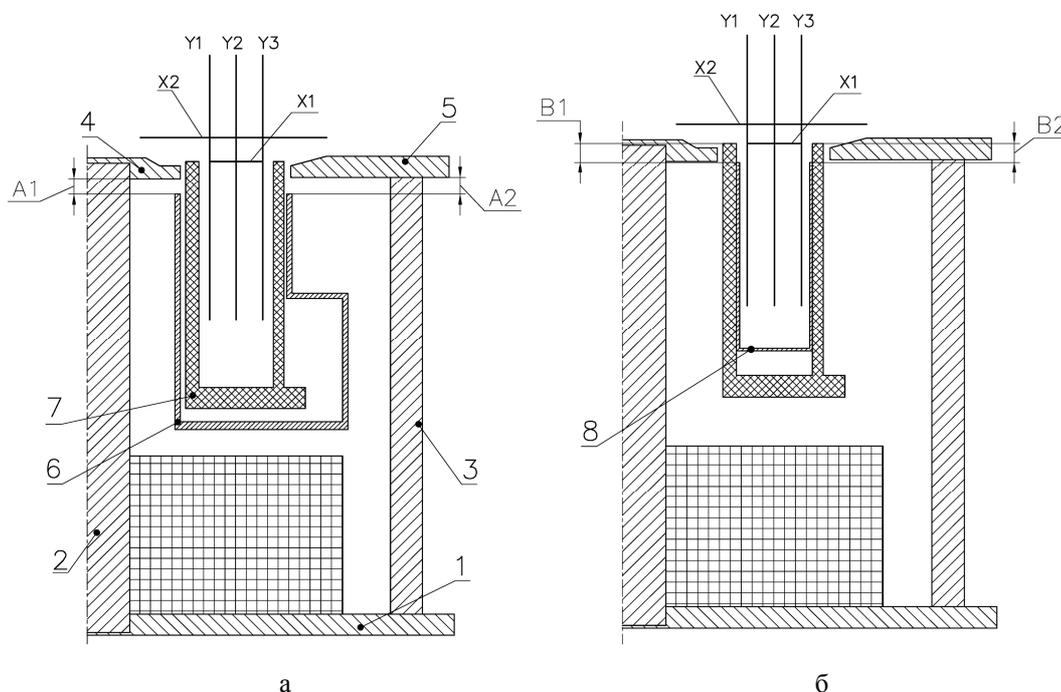


Рис. 1. Расчетная модель:

1 – основание МС; 2 – центральный магнитопровод; 3 – внешний магнитопровод; 4 – внутренний магнитополус; 5 – внешний магнитополус; 6 – внешний экран; 7 – КИУ; 8 – внутренний экран

3. Результаты расчета

Распределение эквипотенциальных линий магнитного поля по анодному блоку СПД для вариантов конструкций МС "А" и "Б" представлено на рис. 2.

Распределение магнитной индукции для двух вариантов МС по линии Y2 показано на рис.3, из которого видно, что кривые для варианта "А" лежат ниже по сравнению с вариантом "Б" и сдвину-

ты за срез КИУ. При этом максимальное значение магнитной индукции для варианта "Б" примерно на 50% больше, чем для варианта "А" и приблизительно на 20% больше в прианодной области, при одинаковой мощности, поданной на катушку. В случае равенства значений магнитной индукции для варианта "Б" потребляемая электрическая мощность уменьшится приблизительно на 30%.

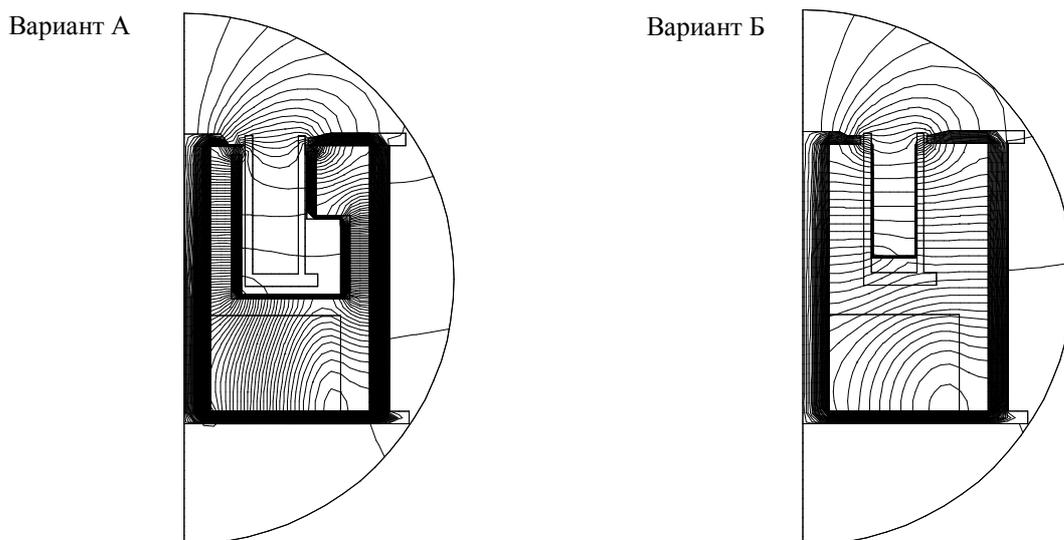


Рис. 2. Распределение эквипотенциальных линий магнитного поля по анодному блоку

Распределение магнитной индукции по линиям Y_1 и Y_3 , для двух вариантов, незначительно отличается от кривых "А" и "Б", представленных на рис. 3.

Само значение магнитной индукции уменьшается от внутренней стенки камеры ионизации и ускорения к наружной.

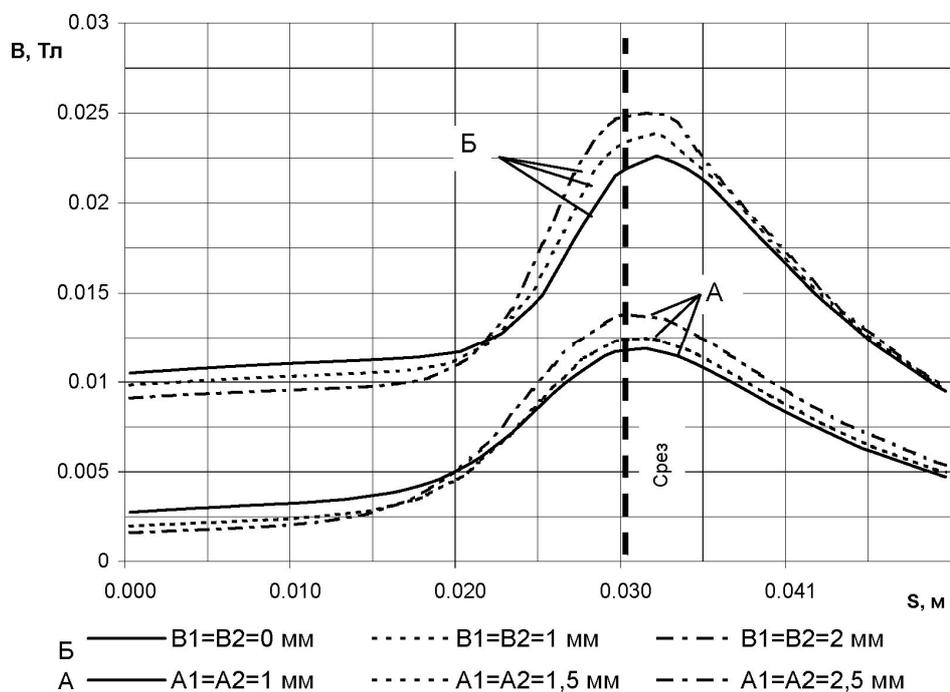


Рис. 3. Распределение магнитной индукции по линиям Y_1 и Y_3

Также было получено распределение магнитной индукции за срезом КИУ по линии X_2 , для вариантов "А" и "Б" (рис. 4). Из рис. 4 видно, что распре-

ление магнитной индукции неравномерно, особенно за стенками КИУ. Эта неравномерность вызвана геометрией магнитных полюсов. Неравномерность и

увеличение магнитной индукции за срезом КИУ вызывает расфокусировку ионного пучка.

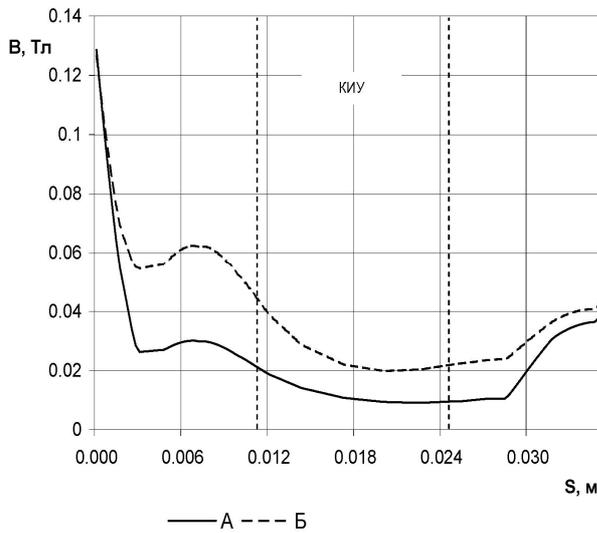


Рис. 4. Распределение магнитной индукции за срезом КИУ по линии X2

На рис. 5 представлено распределение магнитной индукции по линии X1.

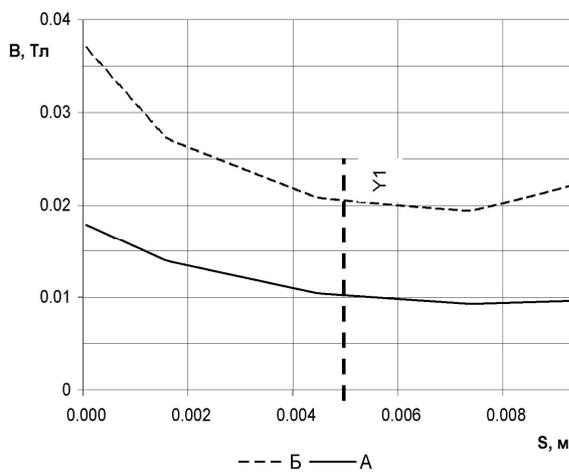


Рис. 5. Распределение магнитной индукции по линии X1

Как видно из рисунка, распределение магнитной индукции несимметрично относительно линии Y1 и значение магнитной индукции увеличивается вблизи внутренней стенки КИУ. Несимметричность магнитного поля приводит к увеличению концентрации

электронов вблизи внутренней стенки КИУ. Это, в свою очередь, вызывает расфокусировку ионного пучка и увеличение скорости износа стенок КИУ (особенно внутренней), что подтверждается результатами исследований [4].

Заключение

Предложена новая конструкция МС СПД, в которой за счет введения магнитных экранов внутрь КИУ, возникает возможность снижения потребляемой мощности (примерно на 30% согласно проведенному расчету), уменьшения габаритов и массы двигателя. Кроме того, в новой конструкции МС появляется возможность использования вынесенного максимума магнитной индукции за срез КИУ.

Литература

1. Белан Н.В., Ким В.П. и др. Стационарные плазменные двигатели. – Х.: Основа, 1989. – 224 с.
2. Хартов С.А. Влияние материала стенок разрядной камеры на интегральные характеристики УЗДП // Тез. докл. 6-й Всесоюзной конференции по плазменные ускорители и ионные инжекторам. – Днепропетровск, 16 – 19 сент. 1986 г. – С. 69.
3. Бишаев А.М., Гаврюшин В.М., Герасимов В.Ф., Ким В.П. и др. Исследование влияния колебаний в разрядной цепи и проводимости стенки канала на процессы в УЗДП // Тез. докл. 4-й Всесоюзной конференции по плазменные ускорители и ионные инжекторам. – М. – 1978. – С. 57 – 58.
4. Архипов Б.А., Десятников А.В., Красенков М.А. Угол разлета плазменной струи // Тез. докл. 6-й Всесоюзной конференции по плазменные ускорители и ионные инжекторам. – Днепропетровск, 16 – 19 сент. 1986 г. – С. 25 – 26.

Поступила в редакцию 12.04.2004

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. А.В. Бастеев, ИПМаш НАН Украины, Харьков.