

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шемахина Александра Юрьевича на тему:

«Математическая модель струйного ВЧИ-разряда пониженного давления с учетом слоя положительного заряда у поверхности твердого тела»,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности

1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертация Шемахина А.Ю. посвящена важной и актуальной научной задаче – созданию и исследованию математических и вычислительных моделей струйных высокочастотных индукционных (ВЧИ) разрядов пониженного давления, разработке научных основ создания струйного ВЧИ-разряда пониженного давления. Работа выполнена на высоком теоретическом и вычислительном уровне, что подтверждает компетентность автора в области численного моделирования плазменных процессов.

Актуальность исследования. Проблематика точного моделирования ВЧИ-разрядов пониженного давления имеет ключевое значение для современной прикладной физики и инженерных технологий. Такие разряды широко используются при плазменной обработке материалов, нанесении покрытий, а также в медицине и экологических технологиях. Для повышения эффективности этих процессов необходимы математические модели, адекватно описывающие распределения параметров плазмы и взаимодействие с поверхностью.

Научная новизна. В диссертационной работе предложена оригинальная физико-математическая модель струйного ВЧИ-разряда, в которой впервые учтено формирование слоя положительного заряда у поверхности твердого тела, а сама модель является единой – задав параметры на входе разрядной камеры, рассчитываются параметры взаимодействия с твердым телом. Автором разработан гибридный численный алгоритм, объединяющий методы решения уравнений гидродинамического типа с частично кинетическими подходами. Это позволило достичь высокой устойчивости и точности расчетов при умеренных вычислительных затратах. Применение современных численных методов, включая адаптивное разбиение сеток, итерационные схемы и оптимизацию параметров сходимости, заслуживает отдельного внимания. Автор продемонстрировал глубокое понимание вычислительных аспектов и сумел реализовать эффективный программный комплекс, пригодный для практического применения при моделировании струйного ВЧИ-разряда пониженного давления.

Достоверность полученных результатов подтверждена корректным выбором граничных условий, последовательной проверкой сходимости вычислительных решений и

сопоставлением с экспериментальными данными. Совпадение расчётных и экспериментальных результатов по ключевым характеристикам плазмы (концентрации, потенциал, распределение температуры) в пределах 85–95 % свидетельствует о высоком качестве предложенного моделирования.

Практическая значимость. Разработанная модель имеет универсальный характер и может быть использована при решении широкого круга задач механики жидкости, газа и плазмы и в смежных дисциплинах. Автореферат содержит примеры внедрения результатов в технологические процессы – плазменную модификацию поверхностей, нанесение покрытий и полировку материалов. Отмечено подтверждённое промышленное использование и полученный экономический эффект.

Публикационная активность соответствует установленным требованиям. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных журналах и представлены на международных конференциях, что свидетельствует о признании научного сообщества.

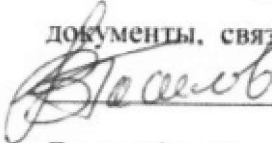
Замечания по содержанию автореферата в основном относятся к выполненным автором вычислительным экспериментам. Поскольку разработанная автором математическая модель предназначена для сквозного моделирования процессов, происходящих при обработке твердых материалов в струе плазмы высокочастотного разряда, и включает в себя как составные части модели гидродинамики, динамики газа в переходном режиме от сплошной среды к свободно-молекулярному потоку, а также модели плазмодинамики, в автореферате было бы целесообразно дать информацию по следующим вопросам:

- 1. Каковы величины давления, при которых возможен расчет в модели сплошной среды, а при каких необходимо приступать к расчету в модели переходного режима в условиях, рассматриваемых в диссертации задач?
- 2. Расчетные сетки какой структуры использовались для моделирования в разных частях установки – в вакуумной и разрядной камерах? Насколько подробным был уровень дискретизации расчетной области в этих частях установки, необходимый для достижения достаточной точности расчетов?

Заключение. Автореферат полностью и последовательно отражает содержание диссертации, демонстрирует высокий уровень теоретической, вычислительной и прикладной подготовки автора. Работа отличается новизной, достоверностью и практической ценностью. Диссертация Шемахина А.Ю. по своему содержанию и уровню соответствует требованиям п.9 постановления Правительства Российской Федерации «О порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842, в действующей редакции, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор заслуживает

присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Я, Гасилов Владимир Анатольевич, согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

 В.А. Гасилов

Доктор физико-математических наук,

профессор, заведующий отделом Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

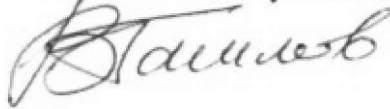
E-mail: vgasilov@yandex.ru

Тел. рабочий: +7499 220 72 24,

мобильный : +7 9779916530

Рабочий адрес: 125047/ Москва, Миусская пл., д. 4А.

6.10.2025



В.А. Гасилов

[дата]

Подпись Гасилова В.А. заверяю

Ученый секретарь

Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН,

к.ф.-м.н.



Вход. № 05-8585
« 15 » 10 2025 г.
подпись 