

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.02 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
от 25 декабря 2019 г. (протокол № 11)

Защита диссертации **Аунг Мьят Хеин**
на соискание ученой степени кандидата технических наук
**«Гибридная плазма газовых смесей как инструмент комбинированного
воздействия на полимерные материалы с целью повышения их
биосовместимости»**

Специальность 01.04.08 – физика плазмы

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.02 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)

Протокол № 11 от 25 декабря 2019 г.

Диссертационный совет Д 002.110.02 утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 11.04.2012 г. № 105/нк в составе 31 человека. На заседании присутствуют 23 человек, из них 10 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 13 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02

д.ф.-м.н., профессор Андреев Н.Е.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02

д.ф.-м.н. Васильев М.М.

1	Фортов В.Е.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
2	Канель Г.И.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
3	Андреев Н.Е.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
4	Васильев М.М.	Д.ф.-м.н.	01.04.08	Присутствует
5	Агранат М.Б.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.14	Присутствует
6	Амиров Р.Х.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.08	Присутствует
7	Баженова Т.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
8	Вараксин А.Ю.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
9	Васильев М.Н.	Д.т.н., профессор	01.04.14	Присутствует
10	Василяк Л.М.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
11	Воробьев В.С.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
12	Голуб В.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
13	Гордон Е.Б.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
14	Грязнов В.К.	Д.ф.-м.н.	01.04.14	Присутствует
15	Дьячков Л.Г.	Д.ф.-м.н.	01.04.08	Присутствует
16	Зейгарник Ю.А.	Д.т.н., с.н.с.	01.04.14	Присутствует
17	Еремин А.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
18	Иванов М.Ф.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
19	Иосилевский И.Л.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
20	Кириллин А.В.	Д.ф.-м.н.	01.04.14	Присутствует
21	Лагарьков А.Н.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
22	Ломоносов И.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
23	Медин С.А.	Д.т.н., профессор	01.04.14	Присутствует
24	Норман Г.Э.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
25	Петров О.Ф.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
26	Полежаев Ю.В.	Чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
27	Савватимский А.И.	Д.т.н.	01.04.14	Присутствует
28	Сон Э.Е.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
29	Старостин А.Н.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
30	Храпак А.Г.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
31	Якубов И.Т.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации аспиранта кафедры логистических систем и технологий факультета аэрофизики и космических исследований Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московского физико-технического института (национальный исследовательский университет)» **Аунг Мьят Хеин** на тему «Гибридная плазма газовых смесей как инструмент комбинированного воздействия на полимерные материалы с целью повышения их биосовместимости». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы. Диссертация выполнена на кафедре логистических систем и технологий факультета аэрофизики и космических исследований ФГАОУ ВО «Московского физико-технического института (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель:

Васильева Татьяна Михайловна – д.т.н., доцент, профессор департамента химии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

Официальные оппоненты:

Елинсон Вера Матвеевна – д.т.н, профессор, профессор кафедры «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии» ФГУБ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия).

Трушкин Николай Иванович – д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Отдела низкотемпературной плазмы акционерного общества "Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований" (АО "ГНЦ РФ ТРИНИТИ") (142190, Московская обл., г. Троицк, ул. Пушкиновых, вл. 12).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет» (153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7).

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.т.н., профессор Елинсон В. М. и д.ф.-м.н. Трушкин Н. И., научный руководитель Аунг Мьят Хеин д.т.н. Васильева Т. М.

СТЕНОГРАММА

Председатель:

Мы начинаем заключительную сессию нашего диссертационного совета в этом году. Наверное, мы должны начать с ознакомления с документами, да?

Ученый секретарь

(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ).

Председатель:

Есть вопросы? Тогда мы можем перейти к вашему докладу, пожалуйста.

Аунг Мьят Хеин:

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Аунга Мьята Хеина прилагается).

Председатель:

Спасибо большое, пожалуйста, какие есть вопросы?

Васильев М.М.:

Скажите, пожалуйста, вы показали, что при вводе электронного пучка в плазму, помимо спектральных изменений вы показали фотографию, что меняется цвет разряда. С чем это связано?

Аунг Мьят Хеин:

Зависит от электронного пучка, я показал фотографии и видео, и они показывают, что электронно-пучковая плазма может управлять объемом плазмы.

Васильев М.М.:

Объем у вас меняется, вопрос такой тогда, где у вас тормозится электронный пучок? У вас стоит абсорбер специальный, в котором пучок тормозиться или он расширяется на всю камеру и на стенках камеры?

Аунг Мьят Хеин:

Да, да расширяется на всю камеру.

Васильев М.М.:

Наблюдаете ли вы эрозию стенок камеры?

Аунг Мьят Хеин:

Да

Васильев М.М.:

Тогда у вас свойства плазмы могут существенно меняться, потому что металл, который эродирует со стенок камеры, он легче ионизуем, наблюдается ли это?

Аунг Мьят Хеин:

Да

Васильев М.М.:

То есть это вы учитываете. Спасибо.

Председатель:

Еще вопросы, пожалуйста?

Василяк Л.М.:

Вы показали слайд, где капля и угол изменяется, а вот если в ВЧ разряде сделать, в гибридной плазме, можно сравнить, когда лучше получается, только ВЧ разряд и гибридная плазма. И, наверное, такой же вопрос о протезе, вы, наверное, делали и то и другое.

Аунг Мьят Хеин:

Ответ на этот вопрос слайд есть. Здесь видно что, изменение гидрофильно-гидрофобных свойств поверхности под действием ГП происходит эффективнее, чем под действием ЭПП и плазмы ВЧ-разряда по отдельности.

Председатель:

Есть ли еще вопросы, пожалуйста?

Голуб В.В.:

Вы использовали электронную пушку какого типа? С термокатодом?

Аунг Мьят Хеин:

Мы использовали, трехэлектродную пушку с термоэмиссионным катодом.

Голуб В.В.:

А почему именно с ним? Почему не использовать пушку с полым катодом? Это было бы проще наверное?

Аунг Мьят Хеин:

Да это потому что, мы использовали его для того, чтобы сканировать электронный пучок по двум перпендикулярным направлениям.

Председатель:

Больше вопросов нет? Спасибо. Тогда, Татьяна Михайловна, пожалуйста, вы расскажете нам что-нибудь о соискателе.

Васильева Т. М.:

Да конечно, расскажу. Здравствуйте, большое спасибо за ваше внимание к Аунг Мьят Хеин и нашей работе в целом. Я хочу, действительно, сказать, что Аунг большой молодец, мы с ним знакомы, уже больше, чем 7 лет. Он поступил в МФТИ в магистратуру и за это время он проделал длинный путь от магистранта до выпускника аспирантуры. Вот он как-то сразу влился в наш научный коллектив и стал выполнять работы научно связанные с генерацией электронно-пучковой гибридной плазмы, и участвовал во всех экспериментах. И главное - в серии экспериментов связанных именно с биоактивными материалами. И за это время он освоил, конечно, огромное количество теоретического материала, освоил подходы к диагностике различных типов плазмы, ее генерации, работу с реакторами, инженерным оборудованием. Понял основы химии полимеров, что, кстати, очень сложно, особенно для человека, который специализируется именно на физике. И все это ему позволило подготовить вполне достойную, большую,

законченную работу, которая, по моему мнению, соответствует требованиям к кандидатским диссертациям.

И мне бы еще вот, что хотелось сказать, этот путь сложный и длинный, но для Аунг он был еще сложнее и длиннее. Он вынужден был и читать литературу, и писать, и общаться с вами на иностранном для него языке. Это очень сложно. В его защиту я еще хочу сказать, что я пыталась выучить его язык. Мне было интересно. Я попросила дать мне несколько уроков, и я выучила только одно слово «Здравствуйте». Дальше дело не пошло, а вот он даже написал и рассказал. Кроме того, он очень помогал своим младшим товарищам. И последнее, что я хочу отметить, эта работа нашла свое практическое применение, то есть это не просто фундаментальное, техническое и инженерное исследование – это работа дальше она пошла в клинику. И здесь работал коллектив интернациональных студентов из разных стран, и Аунг был ядром этого коллектива и сумел наладить коммуникацию и организовать вокруг себя эту молодежь. Он проявил организаторские способности и я, надеюсь, у него и дальше все сложится, и мы продолжим свое сотрудничество уже на международном уровне. Спасибо.

Председатель:

Теперь мы можем ознакомиться с письменными отзывами, я так понимаю?

Ученый секретарь:

Уважаемые коллеги, на автореферат Аунг к нам поступили 3 отзыва, все отзывы положительные, но имеются замечания. С вашего позволения, я зачитаю именно их.

Первый отзыв написан доцентом кафедры **Электронных технологий машиностроения МГТУ им. Баумана**, подписал Колесник. Отзыв положительный и по реферату следующие замечания. Первое. В работе исследовано влияние плазменной обработки на два типа материалов: стоматологическая пластмасса на основе полиметилметакрилата и силиконовая резина по ГОСТу 17.133 833. Однако не обоснован выбор именно этих материалов. Второе, по автореферату не ясно, могут ли быть использованы полученные результаты в части режимов обработки для других полимерных материалов.

Второй отзыв **поступил из Института электрофизики Уральского отделения РАН**. Подписан Филатовым И.Е. кандидатом технических наук. Отзыв положительный, имеется ряд замечаний. Первое. Термин «гибридная плазма» не совсем удачный, обладает ли эта плазма подобными свойствами – это отдельный дискуссионный вопрос. Гибридный реактор, гибридные методы генерирования плазмы – это тоже термины, которые применяются и используются в статьях, на которые ссылается диссертант и соавторы, говоря о примерах гибридной плазмы. Второе. В описании вычислительных экспериментах не хватает технических параметров, из-за этого возникает ряд вопросов. Так, например, в описании Главы 4 стр. 11 приводится моделирование процессов внутри цилиндрического парцевого контейнера, какие размеры этого контейнера? Также речь идет о температурах газа частиц и поверхностей образца, которые в условиях равновесия равны, но какой величине они равны - не указывается. Очевидно, что температура вблизи поверхности образца не должна быть высокой для исключения термической дисфункции полимеров. Вопрос: какова температура образца при плазменной обработке? Далее идет речь о моделировании процессов для титановой трубы диаметром 22 мм и в данном случае речь идет уже о равновесной температуре, судя по графику на рис.4, порядка 500-600 С. Как эти условия относятся к условиям обработки термически стабильного полимерного материала плазмой?

Величина Q , определяемая формулой на с. 11 автореферата, названа «энергией пучка, выделяющейся в плазмообразующем газе при неупругих столкновениях электронов с молекулами газа». Далее, на с.12, эта величина названа «энерговкладом (скоростью ионизации)». Поскольку размерность Q , исходя из формулы – $[см^3 с^{-1}]$, то эту величину

корректнее было бы называть скоростью ионизации. Энерговклад в газ в рассматриваемом приближении пропорционален скорости ионизации, но имеет другую размерность.

Третье. Не указаны параметры ВЧ разряда (ток, напряжение и т.п.).

Четвертое. В содержании Главы 5, описание рис. 7 (стр 16, 2-ой абзац сверху): На рис. 7. представлены только линии азота (в области между 310-460 нм), в то время как в обсуждении с ссылкой на рис. 7 речь идет и о линиях аргона и кислорода в области между 750-850 нм.

Пятое. Описание Главы 6 (стр. 16): «Хотя небольшое снижение θ_w при увеличении времени хранения до 7 дней продолжалось, его конечное значение не должно достигать значения θ_w исходного, немодифицированного ПММА». По логике изложения, вместо «снижение θ_w », по-видимому, должно быть «повышение θ_w ». Хотя смысл происходящего ясен и так: изменяется незначительно.

- о списке публикаций. Значительная часть публикаций посвящена обработке хитина и хитозана, о которых ничего не сказано в автореферате. Поэтому возникает вопрос: каковы результаты действия «гибридного метода» обработки плазмой на эти биополимеры?

- обнаружено по 2 опечатки на 3-й и 11-й стр. Замечание скорее относится к неоднозначности отдельных формулировок и вполне могут быть компенсированы ответами на вопросы, они не ставят под вопрос научные достижения работы.

Третий отзыв. **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»** (старший научный сотрудник кафедры физики ТУСУР, к.т.н. Юшков Ю. Г. и зав. кафедрой физики ТУСУР, д.т.н., профессор Окс Е. М.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- в автореферате имеются грамматические ошибки и опечатки, например на первой странице автореферата слова «поверхностей полимерных» написано слитно.

- автор работы утверждает, что «В ГП (гибридной плазме) возможно образование новых частиц, которые возникают только при комбинированном воздействии ВЧ-разряда и ЭП (электронного пучка)» хотелось бы узнать какие новые частицы были обнаружены автором в процессе исследований?

- в автореферате отсутствуют данные о электронной пушке, применяемой в исследовании, следовало бы указать тип разряда, параметры пучка, диапазон рабочих давлений источника электронов.

- диагностический комплекс реактора обеспечивал непрерывный мониторинг температурного режима обработки, контролируемый ИК-пирометром Optiris LS, в автореферате есть данные о температуре стенок реактора, однако данные о температуре объектов подвергающихся модификации ГП отсутствуют.

- автор работы претендует на создание оригинального оборудования «В ходе выполнения работы создан не имеющий аналогов гибридный реактор..», однако данные о патентовании в автореферате не приводятся. Каждые замечания не снижают положительной оценки работы соискателя.

Наконец **отзыв ведущей организации**. В качестве ведущей организации выступал **Ивановский Государственный Химико-технологический университет**. С вашего позволения я отзыв полностью зачитывать не буду, остановлюсь только на структуре и замечаниях. Отзыв содержит информацию о теме диссертационной работы, ее актуальности, структуре диссертации, положения на защиту, значит и где могут использоваться результаты диссертационной работы. Также отзыв содержат замечания и их я читаю.

- В тексте пропущена ссылка на рис. 1.1.2.

- 2к сожалению, в тексте диссертации большое количество грамматических, орфографических и синтаксических ошибок и опечаток. И то перечислено страницы, которые ошибки сделали.

- 3 на странице 29 непонятны единицы и метод измерения твердости.

- 4 на странице 66 приведена простейшая кинетическая схема, использованная для расчета концентраций нейтральных компонентов плазмы кислорода состоящая всего из шести реакций и нигде не приведена полная схема для 12 компонентов плазмы с числом реакций - 39. Аргумент что можно ограничиться упрощенной моделью (6 процессами) для расчета потоков частиц, из-за не более чем 20% различия с результатами расчетов по полной кинетической модели не достаточно убедителен. И в сокращенной и в полной кинетической модели могут отсутствовать одинаковые критически важные процессы для расчета концентраций компонентов.
- 5 не понятна подпись к рис. 4.3.2.
- 6 на странице 76 непонятная фраза – «в масс-спектре воздуха присутствует остаточный азот».
- 7 на странице 77 перепутаны подписи масс-спектров на рис. 5.1.2 и рис. 5.1.3.
- 8 на странице 78 пик с массовым числом 16 а.е.м. скорее соответствует атомарному кислороду, а не O_2^{2+}
- 9 на странице 87 – угол увеличивается с 97 до 52 градусов?

Перечисленные замечания не снижают важности и достоверности полученных результатов. Диссертационная работа заслуживает присуждения ученой степени.

Председатель:

Это все письменные отзывы. Теперь вы можете ответить на замечания.

Аунг Мьят Хейн:

Разрешите ответить на все вопросы сразу. Потому что многие пересекаются и удобнее отвечать на вопросы как раз блоками.

Многие замечания относятся к условиям проведения экспериментов и параметрам обработки материалов. Я специально подготовил слайд, на котором эти условия и параметры перечислены. Экспериментальная установка обладает широкими возможностями. Диапазоны изменения перегаулировок нашей установки. Но в наших экспериментах мы использовали не все возможности нашей установки. А только мы использовали такие диапазоны во всех наших экспериментах. Характерная температура при обработки не превышала $70^{\circ}C$, что исключило тепловую деструкцию образцов.

В замечаниях есть один вопрос такой: как относится мощность газового разряда и мощность ЭП. Для удобства интерпретации получающих результатов большинстве экспериментов мощность ЭП и мощность газового разряда были примерно одинаковые около 100 Вт.

Есть ещё замечания о моделировании. Да. Энерговыведения и скорость ионизации это, действительно, разные величины и имеют разные размерности. Но они связаны между собой. Обе эти величины рассчитывался автоматически рассчитывающие процессы компьютерного моделирования с помощью программы Kinsim. Примеры этих расчетов я могу показать на слайде. Вот примерные расчеты.

В замечаниях есть вопросы о преимуществах ГП и выборе ионизатора. А также термин ГП. На момент начала работы в нашей лаборатории был только ВЧ-разряд и наиболее часто используются для обработки полимеров. Сейчас у нас есть ДБД и высоковольтный импульсный разряд. Эти эксперименты начаты. Термин «гибридная плазма» нами использован именно в контексте гибридного метода генерирования плазмы. А преимущества ГП показывали на слайде.

Есть некоторые замечания о появлении новых частиц и облучении быстрых электронов. Спектр ГП является суперпозицией спектров ЭПП и ВЧ-плазмы, появления новых частиц в ГП мы только предполагаем, но проделанные эксперименты пока не позволяют это достоверно утверждать.

Несколько вопросов оказалось по эффекту изменения рельефа поверхности и плазмохимические процессы на поверхности. Из них отвечает за изменение

биологических свойств. Вероятно, что на приобретенную биологическую активность изученных в работе плазменно-модифицированных материалов влияет как изменение структуры поверхности, так и плазмохимические превращения в поверхностном слое материала, поскольку и то и другое влияет на смачиваемость материала и адгезию клеток и тканей к модифицированным полимерным поверхностям.

Есть о замечании публикациях и патентовании. Некоторые, более старые версии реактора, отрабатывались нами на процессах модификации хитозана в электронно-пучковой и гибридной плазме. Поэтому в диссертационной работе был использован весь накопленный опыт, а новые данные, полученные в экспериментах с новым материалом (ПММА) являются верификацией ранее полученных результатов. Плазменная модификация ПММА в различных типах разработанных реакторах приведена в этих работах. Основная из них соответствует, например, тезисам Иванова. Большой доклад сделали на конференции по плазмохимии в городе Иваново.

Подана заявка на патент. Заявка прошла формальную экспертизу, получен приоритет на изобретение. Разрешение на клинические испытания показано на слайде.

Председатель:

Спасибо, вы присаживайтесь. А мы переходим как раз к оппонентам. А первый оппонент у нас было профессор Елинсон из МАИ. Пожалуйста, вам слово. И, в принципе, по традиции, не нужно пересказывать диссертацию. Потому что отзыв, должен содержать описания её. А мы уже слышали об этом. Поэтому переходите, пожалуйста, к вам ваши оценки диссертации. Спасибо.

Елинсон В. М.

Мы выслушали работу, в которой очень отчетливо показаны и актуальность работы, и научная новизна работы, и практическая полезность. Соискатель очень подробно рассказал о конкретных результатах исследования, о постановке задачи. Я хочу сказать, что работа представляется очень весомой, личный вклад аспиранта в работу достаточно велик. Нужно сказать, что результаты очень объемны, диссертация очень интересная. Представляет большой интерес конструкция гибридного плазмохимического реактора и отдельных его подсистем, включая диагностический комплекс блока автоматического управления параметрами электронного луча и плазмообразующей среды, и их интеграция в единую плазмохимическую систему. Нужно отметить также, что реактор, конечно, гибридный реактор. Он создавался под конкретную задачу, под целенаправленное управление свойствами и биологической активностью полимерных материалов. И успех решения этой задачи, конечно, имеется. Аунг выполнил в большой степени компьютерное моделирование процессов, которые происходят в реакционном объеме реакторов. И это тоже является признаком возможности оптимизации характеристик и позволяет воспроизводимо реализовывать плазмохимические процессы. Очень интересно здесь было следующее, что на модельной газовой смеси кислород с азотом и аргоном был показан синергизм действия электронного пучка и разряда, и полученный результат можно рассматривать как самостоятельный, фундаментальный. Результаты исследования влияния условий обработки на гидрофильные и гидрофобные свойства полимеров тоже являются очень важной составной частью данной работы. Автором были получены практические результаты, в частности, изделия стоматологических полиметилметакрилатов, биосовместимые со слизистой оболочкой ротовой полости, а также силиконовые резины, о которых здесь докладывалось, обладают повышенной тромборезистентностью. Это указывает на то, что соискателю удалось достигнуть желаемой цели своего исследования.

Тем не менее, нужно указать на некоторые недостатки диссертационной работы.
- приложенные модели воздействия электронно-пучковой плазмы на вещество, приводящего к появлению у обрабатываемых материалов новых биологических свойств.

Делается попытка совместно учесть наработку химически-активных частиц в плазме и реакцию в поверхностных слоях материалов. Однако, при этом не принимается во внимание наработка частиц из газов абсорбируемых материалов и газом выделяющимся этим материалом и его получения за счет деструкции полимеров.

- остался до конца не установленный вопрос, что определяет приобретенную биологическую активность, изученную в работе? Изменение структуры поверхности или плазмохимические превращения в поверхностном слое материалов?

-автор достаточно подробно обсуждал преимущества гибридной низкотемпературной плазмы перед электронно-пучковой плазмой с точки зрения повышения гидрофильности полимерных материалов, однако сравнение гидрофильных свойств полимеров модифицированных в гибридной плазме и плазме разряда не определяется. И следовало бы определить свойства гибридной низкотемпературной плазмы вот в этом контексте.

Перечисленные замечания не ставят под сомнения положения, выносимые на защиту и выводы, они не снижают научной и практической значимости, полученных результатов и не влияет на общее положительное впечатление. Результаты диссертации опубликованы в авторитетных научно-технических журналах и докладывались на научно-представительских конференциях. Работа хорошо оформлена, подбор иллюстраций способствует легкому восприятию и пониманию излагаемого материала. Автореферат достаточно полно и адекватно отражает содержания текста. Таким образом, диссертация Аунга Мьята Тхейна «Гибридная плазма газовых смесей как инструмент воздействия на полимерные материалы с целью повышения их биосовместимости» соответствует установленным критериям и положениям в п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.08. Спасибо.

Председатель:

Да, спасибо, Вы имеете возможность ответить на замечания.

Аунг Мьят Хейн:

Первый вопрос об облучении быстрых электронов. Мониторинг состава плазмообразующей среды проводился непрерывно в течение всего процесса обработки с помощью УФ-, видимого цвета и ИК-оптических спектрометров и масс-спектрометра, входящих в состав диагностического. При анализе спектров в плазме всех использовавшихся газов действительно была обнаружена примесь паров воды, что может быть связано как с дегидратацией образца в процессе плазмохимического воздействия и вакуумной дегидратацией. Это может быть также следствием наличия паров воды в вакуумной системе. А какие-либо газообразные продукты деструкции полимера обнаружены не были. Второй вопрос это прошу прошение, что я уже ответил, когда все вопросы сразу ответить. Третий вопрос это уже показал преимущества ГП.

Председатель:

Спасибо, присаживайтесь. Тогда переходим ко второму оппоненту Трушкин Н.И. из ТРИНИТИ. Я думаю, у вас тоже нет необходимости пересказывать диссертацию.

Трушкин Н. И.:

Просто хочу несколько слов сказать и ощутить место работы в общей проблеме о применении низкотемпературной плазмы в плазменной медицине. Известно, что низкотемпературная плазма в медицине широко применяется в микроэлектронике и в лазерной технике в плазменной технике и так далее. В последнее время обозначились новые перспективные применения низкотемпературной плазмы, среди которых следует отметить, прежде всего, плоские плазменные дисплеи, обработка полимерных материалов поверхностей с целью придания им нужных свойств, синтез новых материалов

многокомпонентных. Одним из наиболее динамичных развивающихся направлений применения низкотемпературной плазмы является плазменная медицина, которая подразумевает как обработку и деактивацию различных болезнетворных организмов, антибактериальную обработку различных ран, в том числе и функциональная обработка различных полимерных материалов с точки зрения придания им свойств биосовместимости с тканями человека. Нужно отметить, что каждое новое применение плазмы. Предъявляет новые свои все более высокие требования к параметрам плазмы, как по селективности воздействия, эффективности воздействия, по скорости и по энергозатратности тоже. В качестве примера можно привести, в плазменных дисплеях необходимо создавать плазму в газоразрядных ячейках размеров в десятки микрон. В условиях, когда произведения давления на характерные размеры являются одним из управляющих параметров развитием газового разряда. И понятно, что такие требования являются максимально жесткими для газовых разрядов. В плазменной медицине такими сложными жесткими требованиями является создание однородной плазмы из большого объема, с большой концентрацией химических и биологически активных частиц. Вот такие жесткие возникающие требования, они стимулируют возникновение новых методов, подходов к генерации низкотемпературной плазмы, которые оптимальным образом удовлетворяли предъявляемым потребностям. И здесь благотворным методом является использование гибридных комбинированных методов воздействия на плазмообразующую среду. Эти методы известны в низкотемпературной плазме и широко использовались в плазменных, газовых лазерах, они по-разному назывались – комбинированные методы и гибридные методы. Скажем, использование разряда постоянного тока и наложение на него импульсов с высокой амплитудой. Основная идея этих гибридных и комбинированных методов заключается в том, чтобы разделить функции генерации, функции наработки заряженных частиц и функции управления энергетическим спектром электронов и ионов в том числе. То есть импульсы высокой амплитуды производят ионизацию и генерацию, а приложенное сравнительно не высокое электрическое поле управляет энергетическим спектром электронов и таким образом позволяет целенаправленно вкладывать электрическую энергию в нужной степени свободы и добиваться нужной высокой эффективности применения низкотемпературной плазмы. Их последних подобных современных методов можно отметить высокочастотные разряды, которые используют несколько частот, 2 частоты, а последнее время появились и 3 частоты. Каждая частота выполняет вот эту свою функцию.

В данной работе автор применил гибридный подход для создания плазмы в применении к плазменной медицине. Данный подход является новым таким подходом, именно его плазмо-медицинское направление. В качестве одного воздействия используется пучок электронов с энергией в десятки кэВ, второе воздействие это высокочастотный разряд емкостного типа с частотой 13,56 МГц. Как показывает практика, вот такой положительный эффект от совместного действия агентов, он имеет ограниченные области воздействия и положительный эффект имеет и после этого сменяется отрицательным эффектом и основное содержание предлагаемой диссертации вкратце заключается в определении тех параметров, где наблюдаются положительные эффекты от внедрения такого комбинированного метода. Диссертант очень подробно исследовал вот эти экспериментальные условия, как по давлению газа, так и по режимам сканирования электронного пучка. Электронный пучок в этом методе отвечает за создание ионизации, прежде всего, плазмы высокой концентрации в большом объеме, а приложенное высокочастотное поле позволяет управлять энергетическим спектром так электронов, так и ионов. Общий положительный эффект здесь на лицо. Автор определил конкретные границы по давлению, по режимам управления электронов, при которых вот эти положительные эффекты работают с максимальной степенью. Он на примере двух уже отмеченных материалов полиметилакрилата и силиконовой резины провел эксперименты по изучению гидрофильных и гидрофобных свойств и показал, что вот

эти наработки оказывают полезное воздействие на биологическую совместимость обработанных материалов с тканью человека.

В заключение хочу сказать, что при проведении этих экспериментальных и расчетно-технических исследований был получен ряд значимых научных результатов, среди которых я хотел бы отметить два. Прежде всего, было четко показано, что в определенной области давления наблюдается синергетический эффект от воздействия двух агентов: пучка и высокочастотного разряда. А именно, концентрация некоторых химических активных частиц атома кислорода гибридной плазмы получается больше, чем простая сумма воздействий этих агентов по отдельности. И второй весьма значимый результат заключается в том, что наработанные результаты по гидрофилизации, пи гидрофолизации материалов связаны напрямую с параметрами плазмы. Это очень важно для определения оптимальных режимов. В качестве замечаний, я отметил три замечания. Часть уже прозвучала, что в работе не указаны конкретные значения энерговклада, которое достигается за счет электронного пучка и высокочастотного разряда. Эти данные нужны, чтобы объективно оценивать уровень действия и уровень затрат на ту или иную модификацию этого разряда. Второе замечание носит характер пожелания. Диссертант выбрал электронный пучок и высокочастотный разряд, в принципе известно и много других газовых разрядов и хотелось бы, чтобы в работе было более четко обосновано какими критериями и условиями обусловлен выбор именно высокочастотного разряда. Но это замечание не затрагивает сути работы, работа выполнена на высоком научном уровне и достоверность результатов не вызывает сомнений, что связано с хорошим экспериментальным оборудованием, которое было использовано при проведении исследования.

Председатель:

И ваше заключение...

Трушкин Н. И.:

Работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Председатель:

Спасибо, Николая Иванович. Вы имеете возможность ответить, если хотите сказать что-то новое.

Аунг Мьят Хейн:

Новое нет. Я уже ответил на эти вопросы.

Председатель:

Тогда мы можем переходить к дискуссии, кто хочет высказаться?

Василяк Л.М.:

Что касается работы, то я ее прочитал, конечно. Также я был в МФТИ и видел установку своими глазами и имел возможность ее потрогать. Я должен сказать, что это очень сложный эксперимент, который включает два разных разряда, если говорить о диссертации, то это обработка полимеров и всевозможная химия и плюс еще к этому действие с медициной. То есть, это огромный комплекс различных проблем, которые автору удалось решить. Эксперименты сделаны хорошо, практическая значимость подтверждена, я считаю, что диссертация очень хорошая и предлагаю поддержать.

Председатель:

Кто хочет, что-нибудь добавить?

Воробьев В.С.:

Уже несколько раз говорили такую фразу «биологическая совместимость», нельзя ли поподробнее ответить, в чем она собственно заключается? Как это фиксируется, биологическая совместимость поверхность, которая обработана плазмой с живыми тканями.

Председатель:

Это вопрос к членам совета? Вопросы к диссертанту уже закончились

Воробьев В.С.:

Ну, тогда мне осталось вот это непонятно.

Василяк Л.М.:

Там была фотография, что протез вызывает воспаление во рту, а где модифицированный протез - это воспаление исчезло – это и есть биосовместимость.

Председатель:

У меня тоже были вопросы, что обеспечивает, модификации поверхности или измененная химия для меня этот вопрос целиком не ясен. Но я думаю, что он целиком не ясен и вообще в настоящее время, работы как раз ведутся только. Нам было продемонстрировано, что работает, а механизм этой работы для меня тоже не совсем ясным остался. Кто-нибудь хочет на эту тему что-нибудь сказать.

Не отваливается - значит совместимо.

Васильева Т.М.:

Я как раз могу объяснить. Биосовместимость это сложная проблема, так как плазмохимия и гибридная плазма, которую мы использовали это комплекс факторов и сложная система. И вот само понятие совместимости, как коллеги медики объясняли, это тоже очень комплексное понятие. При чем, это понятие может варьироваться в зависимости от задач, которые ставят как раз медики. В медицине есть базовый набор понятий, полимер или любое другое инородное тело, которое мы пытаемся приживить в организм человека. Оно должно быть не токсично, с его поверхности не должны никакие токсичные элементы выделяться. Они не должны провоцировать воспаление. Со всем комплексом, с повышением температуры, с генерацией антител, организмом оно отторгаться не должно, оно не должно на себе сорбировать всякие микробы. Мы как раз эту проблему начинаем разрабатывать антимикробное покрытие это тоже очень важно. Протез не должен взаимодействовать с лекарством, которое мы вводим в рану. Это комплекс свойств, кроме того, сейчас нет востребованного метода, который позволяет сделать это.

Председатель:

Спасибо, это все-таки формат дискуссии, надо дать высказаться другим тоже. Понятно, что это проблема сложная, и мы это поняли.

Владимир Сергеевич, вы удовлетворены обсуждением этого вопроса?

Воробьев В.С.:

Вот можно было взять в оппоненты из медиков кого-то.

Председатель:

Таких оппонентов у нас, к сожалению, нет. Тогда мы запомним ваши пожелания, если впредь у нас будет что-то биологическое, то мы будем смотреть для оценки работы более широко. Еще кто-нибудь что-нибудь хочет сказать?

Старостин А.Н.:

Если можно, то я просто хотел выразить признательность за интересную работу, проделанную. Он преодолел много барьеров, видно, что великолепно справился, оценка положительная.

Председатель:

Спасибо, Андрей Николаевич, еще кто-нибудь? Если нет, то тогда заключительное слово пожалуйста. Вы можете выразить то, что считаете нужным.

Аунг Мьят Хейн:

Уважаемые присутствующие и члены диссертационного совета, позвольте выразить огромную благодарность всем тем, кто принял участие в представлении и публичной защите и обсуждении моей диссертации. В первую очередь, позвольте выразить благодарность Председателю диссертационного совета Андрееву Н. Е., ученому секретарю Васильеву М.М., за предоставленную возможность защититься в данном диссертационном совете. Во-вторых, хотелось бы выразить искреннюю признательность и благодарность моему научному руководителю Васильевой Татьяне Михайловне, а еще Васильеву Михаилу Николаевичу за помощь на всех этапах выполнения диссертации. В-третьих, разрешите выразить глубокую признательность официальным оппонентам Елисон В.М. и Трушкину Н.И. за высококвалифицированные и объективные отзывы. В заключение, хотелось бы выразить искреннюю признательность всем присутствующим в качестве слушателей за внимание, проявленное к нашему исследованию. Благодарю вас за внимание.

Председатель:

Мы переходим к заключительной части, и выбору счетной комиссии. И предложение у нас такое, Владимир Сергеевич Воробьев, поскольку вам уже все ясно, Лев Гаврилович Дьячков, пожалуйста, и Игорь Львович Иосилевский. Кто за? *(Счётная комиссия выбирается единогласно)* Прошу голосовать. Воздержавшихся и против голосов нет, тогда давайте переходим к этой процедуре. И параллельно прошу всех замечания к заключению просмотреть и огласить. Не забудьте проголосовать и дальше мы переходим к обсуждению заключения. *(Проводится процедура тайного голосования)*

Воробьев В.С.:

Я оглашаю результаты голосования. На заседании диссертационного совета присутствует 23 человека, в том числе доктора наук по профилю рассматриваемой диссертации – 10.

Роздано бюллетеней: 23

Не розданных бюллетеней: 8

В урне: 23 бюллетеня

Результаты голосования:

За - 23

Против - 0

Недействительных бюллетеней – 0

Председатель:

Спасибо, давайте утвердим тогда, если нет возражений, кто за – единогласно, я полагаю. *(Протокол счетной комиссии утвержден единогласно)*. Тогда поздравляем соискателя и всех, кто участвовал в защите. Теперь мы должны проголосовать за заключение, по замечаниям, которые вы услышали, есть комментарии? *(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения)*. Нет, тогда предлагаю принять решение с теми замечаниями, которые были озвучены. Единогласно. *(Проект заключения принят единогласно)*. Спасибо большое. На этом первая защита закончена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 25.12.2019г. № 11

О присуждении Аугн Мьят Хеин, гражданину Мьянмы ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Гибридная плазма газовых смесей как инструмент комбинированного воздействия на полимерные материалы с целью повышения их биосовместимости» по специальности 01.04.08 – физика плазмы принята к защите 17.10.2019г., (протокол заседания № 7) диссертационным советом Д 002.110.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, jiht.ru), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012г.

Соискатель Аугн Мьят Хеин 1989 года рождения, в 2014 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

В 2019 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена на кафедре логистических систем и технологий факультета аэрофизики и космических исследований Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московского физико-технического института (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель доктор технических наук, профессор кафедры общей химии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московского физико-технического института (национальный исследовательский университет)» Васильева Татьяна Михайловна

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии» ФГУБ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Елинсон Вера Матвеевна;

- доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Отдела низкотемпературной плазмы акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (АО "ГНЦ РФ ТРИНИТИ")» Трушкин Николай Иванович

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет», (ФГБОУ ВО «ИГХТУ»), г. Иваново) в своем положительном заключении, составленном зав. кафедрой технологии приборов и материалов электронной техники к.х.н. Смирновым С. А. (утвержденном 15.11.2019 г. ректором ФГБОУ ВО «ИГХТУ» Бутманом М.Ф.) указала, что в ходе выполнения диссертационной работы создан не имеющий аналогов реактор, позволяющий проводить исследования гибридной плазмы для решения задач обработки материалов и изделий медицинской техники. Получены новые экспериментальные данные об изменении поверхностных свойств стоматологической пластмассы на основе полиметилметакрилата и силиконовой резины под воздействием гибридной плазмы. Найдены и

проанализированы связи эффекта повышения биосовместимости полимерных материалов и изделий при пучково-плазменной модификации с условиями их обработки. Разработан оригинальный способ управления энерговыделением в реакционной зоне плазмохимического реактора гибридного типа, основанный на специальных алгоритмах управления углом начальной расходимости инжектируемого в нее пучка.

Результаты диссертационной работы могут использоваться в исследовательских, проектных и конструкторских организациях, работающих в области исследования и применения плазменных систем (ИОФ РАН, ИСЭ РАН, МГУ, МГТУ, МРТИ РАН, ФТИ РАН, ИКИ РАН, ИНХС РАН, ТРИНИТИ, ОИВТ РАН, ИСПМ РАН, К(П)ФУ, КНИТУ, ИГХТУ и др.).

Соискатель имеет 12 печатных работ, в том числе 7 статей в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК и 5 тезисов докладов, опубликованных в сборниках трудов конференций:

1. T. Vasilieva, S. Lopatin, V. Varlamov, V. Miasnikov, Aung Myat Hein, M. Vasiliev. Hydrolysis of chitin and chitosan in low temperature electron-beam plasma // *Pure and Applied Chemistry*. – 2016. – V. 88, N. 9 – P. 873–879.
2. T.M. Vasilieva, D.G. Chuhchin, D.S. Kosyakov, N.V. Uluanovskii, A.A. Sigarev, M.N. Vasiliev, V.A. Miasnikov, Aung Myat Hein. The modification of biopolymer films and porous materials by electron-beam plasma // *ОАНОСТ*. – 2016. – V. 1, N. 1. – Article. 2.
3. T. Vasilieva, A. Sigarev, D. Kosyakov, N. Ul'yanovskii, E. Anikeenko, D. Chuhchin, A. Ladesov, Aung Myat Hein, V. Miasnikov. Formation of low molecular weight oligomers from chitin and chitosan stimulated by plasma-assisted processes // *Carbohydrate Polymers*. – 2017. – V. 163. – P. 54–61.
4. Е. О. Кудасова, Е. В. Кочурова, Т. М. Васильева, М. В. Неклюдова, В. А. Мясников, Аунг Мьят Хеин. Воздействие полимерной протетической конструкции, обработанной плазмой тлеющего разряда, на слизистую оболочку полости рта (клинический случай) // *Опухоли головы и шеи*. – 2017. – Т. 7. – С. 115-120.
5. T. Vasilieva, Aung Myat Hein, A. Vargin, E. Kudasova, E. Kochurova, M. Nekludova. The effect of polymeric denture modified in low-temperature glow discharge on human oral mucosa: Clinical case // *Clinical Plasma Medicine*. – 2018. – V. 9. – С. 1–5.
6. Аунг Мьят Хеин, А.Б. Варгин, Т.М. Васильева, М.Н. Васильев. Модификация акриловых полимеров в плазме ВЧ-разряда в комбинации с УФ-излучением // *Труды МФТИ*. – 2018. – Том. 10, №. 1. – С. 60-67. (Статья)
7. M. Vasiliev, T. Vasilieva, Aung Myat Hein. Hybrid plasma-chemical reactors for biopolymers processing // *Journal of Physics D: Applied Physics*.—2019. – V. 52, N. 33. – P.335202.
8. Аунг Мьят Хеин, В.А.Мясников. Пучково-плазменная обработка стоматологических пластмасс в низком вакууме // 12-я конференция «Вакуумная техника, материалы и технология». Москва. КВЦ Сокольники. 2017. С. 120-124.
9. Аунг Мьят Хеин, А.Б. Варгин, Т.М. Васильева, В.А. Мясников, Е.О. Кудасова, Е.В. Кочурова, М. В. Неклюдова. Модификация стоматологических протетических конструкций в низкотемпературной плазме низкого давления // XXIV научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника». Судак. 2017. С. 260-263.
10. Аунг Мьят Хеин, А.Б. Варгин, Т.М. Васильева, М.Н. Васильев. Модификация гидрофильных свойств стоматологических акриловых полимеров пучково-плазменными методами и УФ-излучением // Юбилейная 15-ая Курчатовская междисциплинарная молодёжная научная школа. Москва. Россия. 2017. С. 173.
11. Аунг Мьят Хеин, А.Б. Варгин, Т.М. Васильева, М.Н. Васильев. Модификация акриловых полимеров в плазме ВЧ-разряда в комбинации с УФ-излучением // *Труды 60-й Всероссийской научной конференции МФТИ*. 2017. С. 222-224.

12. Аунг Мьят Хеин, Т.М. Васильева, А.Б. Варгин. Модификация стоматологических акриловых пластмасс в электронно-пучковой плазме и плазме ВЧ-разряда // VIII Международный симпозиум по теоретической и прикладной плазмохимии. Иваново. Россия. 2018. С. 76-79.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук»** (руководитель группы низкотемпературной плазмы с.н.с., к.х.н., Филатов И. Е.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- термин «гибридная плазма» не совсем удачен, особенно в заголовке. Обладает ли подобная плазма существенными особенностями, чтобы её так называть – это отдельный дискуссионный вопрос. «Гибридный реактор», «гибридный метод генерирования плазмы» - эти термины тоже применяются, и именно они обычно используются в статьях, на которые ссылается диссертант и соавторы, говоря о примерах «гибридной плазмы».

- в описании «вычислительных экспериментов» не хватает технических параметров, из-за этого возникает ряд вопросов. Так, в описании Главы 4 (стр. 11) приводится моделирование процессов внутри «цилиндрического кварцевого контейнера». Какие размеры этого контейнера? Также речь идет о температурах газа, «частиц» и поверхности образца (которые в условиях равновесия равны). Но какой величине эти температуры равны – не указывается. Очевидно, что температура вблизи поверхности образца не должна быть высокой (для исключения термической деструкции полимеров, в т.ч. ПММА). Вопрос: какова температура образца при плазменной обработке?

Далее идет речь о моделировании процесса для титановой трубы диаметром 22 мм. И в данном случае, речь идет по-видимому, уже о равновесной температуре (судя по графикам на рис. 4, порядка 500-600° С. Как эти условия относятся к условиям обработки термически лабильного полимерного материала плазмой?

Величина Q , определяемая формулой на с. 11 автореферата, названа «энергией пучка, выделяющейся в плазмообразующем газе при неупругих столкновениях электронов с молекулами газа». Далее, на с.12, эта величина названа «энерговкладом (скоростью ионизации)». Поскольку размерность Q , исходя из формулы – $[см^{-3}с^{-1}]$, то эту величину корректнее было бы называть скоростью ионизации. Энерговклад в газ в рассматриваемом приближении пропорционален скорости ионизации, но имеет другую размерность.

- не указаны параметры ВЧ разряда (ток, напряжение и т.п.).

- в содержании Главы 5, описание рис. 7 (стр 16, 2-ой абзац сверху): На рис. 7. представлены только линии азота (в области между 310-460 нм), в то время как в обсуждении с ссылкой на рис. 7 речь идет и о линиях аргона и кислорода в области между 750-850 нм.

- описание Главы 6 (стр. 16): «Хотя небольшое снижение θ_w при увеличении времени хранения до 7 дней продолжалось, его конечное значение не достигало значения θ_w исходного, немодифицированного ПММА». По логике изложения, вместо «снижение θ_w », по-видимому, должно быть «повышение θ_w ». Хотя смысл происходящего ясен и так: изменяется незначительно.

- о списке публикаций. Значительная часть публикаций посвящена обработке хитина и хитозана, о которых ничего не сказано в автореферате. Поэтому возникает вопрос: каковы результаты действия «гибридного метода» обработки плазмой на эти биополимеры?

- обнаружено по 2 опечатки на 3-й и 11-й стр.

2. **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»** (старший научный сотрудник кафедры физики ТУСУР, к.т.н. Юшков Ю. Г. и зав. кафедрой физики ТУСУР, д.т.н., профессор Окс Е. М.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- в автореферате имеются грамматические ошибки и опечатки, например на первой странице автореферата слова «поверхностейполимерных» написано слитно.
- автор работы утверждает, что «В ГП (гибридной плазме) возможно образование новых частиц, которые возникают только при комбинированном воздействии ВЧ-разряда и ЭП (электронного пучка)» хотелось бы узнать какие новые частицы были обнаружены автором в процессе исследований?
- в автореферате отсутствуют данные о электронной пушке, применяемой в исследовании, следовало бы указать тип разряда, параметры пучка, диапазон рабочих давлений источника электронов.
- диагностический комплекс реактора обеспечивал непрерывный мониторинг температурного режима обработки, контролируемый ИК-пирометром Optris LS, в автореферате есть данные о температуре стенок реактора, однако данные о температуре объектов подвергающихся модификации ГП отсутствуют.
- автор работы претендует на создание оригинального оборудования «В ходе выполнения работы создан не имеющий аналогов гибридный реактор..», однако данные о патентовании в автореферате не приводятся.

3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана «МГТУ»» (доцент кафедры МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении» к.т.н. Колесник Л. Л.) - отзыв положительный, с замечаниями:

- в работе исследовано влияние плазменной обработки на два вида материалов: стоматологическая пластмасса на основе полиметилметакрилата и силиконовая резина (ГОСТ 17133-83), однако не указано, чем именно обоснован выбор этих материалов для ведения исследования.
- из автореферата не ясно, могут ли быть использованы полученные результаты в части режимов обработки для других видов полимерных материалов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- д.т.н., профессор Елинсон Вера Матвеевна является признанным специалистом в области исследования ионно-плазменных процессов нанесения биоактивных плёнок и плёночных структур в вакууме и при атмосферном давлении, в том числе управления биологическими свойствами поверхности посредством физических воздействий.

1. Elison V. M., Didenko L.V., Shevlyagina N.V., Gaidarova A.K., Lyamin A.N. Colonization by Staphylococcus aureus of nano-structured fluorinated surfaces, formed by different methods of ion-plasma // Bulletin of Experimental Biology and Medicine 2016, 162(1), p.71-74.

2. Elison V. M., A.N. Lyamin, A.V. Shvedov, S.V. Dvoryak. Comparative Analysis of Carbon and Fluorocarbon Coatings Obtained by Means of a Low-Frequency Plasma Torch under Atmospheric Pressure // Journal of Surface Investigation:X-ray Synchrotron and Neutron Techniques, 2019, Vol. 13, №. 4, pp. 619-623.

3. Elison V. M., P.A. Shchur, D.V. Kirillov, A.N. Lyamin, O.A. Silnitskaya. Study of the mechanical characteristics of single-layer and multilayer nanostructures based on carbon and fluorocarbon coatings // Journal of Surface Investigation:X- ray Synchrotron and Neutron Techniques, 2019, Vol. 13, №. 4, pp. 619-623.

- д.ф.-м.н., профессор Трушкин Николай Иванович является признанным ведущим научным сотрудником в области зарядовая кинетика и плазмохимия слабоионизованной неравновесной плазмы, в том числе плазмы газовых разрядов.

1. Yu. Akishev, A. Balakirev, M. Grushin, V. Karalnik, I. Kochetov, A. Napartovich, A. Petryakov, N. Trushkin. Long plasma jet generated by DC discharge in N₂ at atmospheric pressure: Impact of trace admixtures on composition of reactive species in far afterglow // IEEE Transactions on Plasma Science, 2015, v. 43, Issue 3, pp. 745 -752.

2. Ю.С. Акишев, М.Ю. Зайцев, В.А. Копьев, А.В. Петряков, Н.И. Трушкин. Влияние барьерного разряда на газодинамические параметры формируемой им плазменной струи // Прикладная физика, 2018, № 6, с. 14-19.

3. P. Synek, Yu. Akishev, A. Petryakov, N. Trushkin, J. Vorac, T.Hoder. Electrical analysis and ultra-fast sequential imaging of surface barrier discharge with 15 streamer-leader sequence generated with 100 kHz frequency at the water interface // Plasma Sources Sei. Technol., v. 28. № 9, 2019, 095018.

- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет» является известным в России своими результатами научных исследований в области плазмохимии и химической технологии;

электроники и нанoeлектроники;

низкотемпературной неравновесной плазмы и основ ее применения в технологических процессах;

строения молекул и физико-химические процессов в газовой фазе и неравновесной плазме;

технологии полимерных волокон и композиционных материалов.

В лаборатории низкотемпературной плазмы ведутся работы по электрическим разрядам в газах и развитию плазменных технологий обработки материалов.

1. Шкова Т.Г., Овцын А.А., Смирнов С.А. Кинетические закономерности плазмохимического модифицирования поликарбоната в плазме кислорода // Химия высоких энергий 2019, Т.53. № 4. С. 320-324.

2. Овцын А.А., Кадников Д.В., Смирнов С.А. Влияние газообразных продуктов травления поликарбоната на электрофизические параметры плазмы кислорода // Прикладная физика 2018, № 1. С. 19-13.

3. Овцын А.А., Смирнов С.А., Артюхов А.И., Шибяев С.А. Кинетические закономерности травления поликарбоната в плазме кислорода // Химия высоких энергий 2017, Т. 51, № 3. С. 244-247.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Создана установка, в которой реализован гибридный способ генерации холодной химически активной плазмы совместным действием на плазмообразующую среду двух ионизаторов (гибридный плазмохимический реактор), предназначенная для проведения экспериментов по целенаправленному модифицированию свойств полимерных материалов и медицинских изделий, в том числе, съёмных ортопедических протезов (исследования *in-vitro* и *in-vivo*) и материалов, контактирующих с кровью человека (исследования *in-vitro*).

- Отработаны методики проведения экспериментов по плазмохимической модификации термолабильных полимерных материалов в гибридной стационарной плазме, генерируемой совместным действием высокочастотного газового разряда и электронного пучка на газовые смеси специально подобранного состава, применительно к упомянутым выше материалам и изделиям, используемым в медицинской практике. При этом разработаны:

способы позиционирования зоны плазмохимического воздействия на поверхности изделий сложной формы;

способы повышения рабочего давления в реакционной зоне высокочастотного плазмохимического реактора за счет инъекции в нее электронного пучка;

способы управления температурой поверхности в этой зоне.

- Экспериментально доказана возможность контролируемой пучково-плазменной модификации гидрофильно-гидрофобных свойств высокомолекулярных термопластических материалов и повышения биосовместимости изделий, изготовленных из таких материалов, применительно к задачам сложного челюстно-лицевого протезирования. При этом:

найжены условия обработки современных высокомолекулярных термопластических материалов, применяемых в сложно-челюстном протезировании, в гибридной плазме, обеспечивающие существенное изменение их гидрофильно-гидрофобных свойств; установлено, что под воздействием гибридной плазмы полимеры приобретают гидрофильно-гидрофобные свойства, причем данный эффект сохраняется в течение не менее одной недели после плазменной обработки;

выявлены зависимости, связывающие условия пучково-плазменной обработки материалов и изделий, применяемых в современной стоматологии, со свойствами, характеризующими их биосовместимость с тканями организма человека;

доказано, что увеличение гидрофильности обработанной гибридной плазмой поверхности полиметилметакрилата было намного выше, чем у полимеров, модифицированных в электронно-пучковой плазме и в плазме высокочастотного газового разряда.

- Экспериментально доказана эффективность предварительной пучково-плазменной обработки поверхности силиконовых резин при изготовлении медицинских изделий, обладающих повышенной тромборезистентностью, методом послойной сборки.

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что:

- В результате работы были определены области применения предложенных способов пучково-плазменного воздействия на полимерные материалы, в которых они имеют существенные преимущества перед традиционными плазменными технологиями. При этом продемонстрирована возможность получения полимерных материалов с высокой биосовместимостью с тканями человеческого организма. Такие материалы и изготовленные из них изделия могут быть использованы в ортопедической стоматологии, челюстно-лицевой хирургии и сосудистой хирургии.

- При выполнении диссертационной работы съемные полимерные ортопедические конструкции, модифицированные в гибридной плазме, были успешно применены при постоперационном курировании пациентов со злокачественными опухолями полости рта, что экспериментально подтверждает эффективность применения гибридной плазмы для решения задач современной стоматологии и реабилитации пациентов. В настоящее время на основании разрешения лечебно-этического комитета совместно с ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) от 05.12.2018 г. № 10-18 проводится цикл клинических испытаний, плазменно-модифицированных съемных протетических конструкций. Результаты внедрения плазменных методов в стоматологическую практику позволят снизить риск развития постоперационных инфекционно-воспалительных осложнений у людей, использующих стоматологические имплантаты и съемные протезы, сократить время реабилитации таких пациентов и повысить качество их жизни в целом. На соответствующие технические решения подана заявка на патент.

- Разработанные способы и устройства могут быть применены и в других областях биологии и медицины, например, тканевом инжиниринге, создании современных клеточных скаффолдов, систем для адресной доставки лекарственных препаратов, гемостатиков, биodeградируемых материалов и матриц для хирургии и экстремальной медицины, разнообразных функциональных гибридных материалов.

Результаты диссертационной работы могут использоваться в исследовательских, проектных и конструкторских организациях, работающих в области исследования и применения плазменных систем (Институт общей физики имени А.М. Прохорова РАН, Институт сильноточной электроники СО РАН, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Московский радиотехнический институт РАН, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова, РАН, Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Первый московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова,

Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии им. почетного академика Н.Ф. Гамалеи, Государственный научный центр РФ «Троицкий институт инновационных и термоядерных технологий», Объединенный институт высоких температур РАН, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, Ивановский государственный химико-технологический университет, АО Корпорация «Росхимзащита», и др.).

Оценка достоверности результатов исследования обеспечена правильным подбором объектов исследования, использованием современных методик проведения пучково-плазменных экспериментов и апробированных алгоритмов компьютерного моделирования процессов в плазмохимических реакторах. Положения и выводы, сформулированные в диссертации, получили квалифицированную апробацию на международных и российских научных конференциях, и семинарах. Достоверность также подтверждается публикациями результатов исследования в рецензируемых научных изданиях, в том числе, рекомендованных ВАК.

Личный вклад соискателя. Автор принимал непосредственное участие в планировании экспериментов и в выборе методик их проведения. Им была получена значительная часть экспериментальных данных, проведен их анализ и обобщение. Автор выполнил вычислительные эксперименты, позволившие существенно уменьшить объем и снизить трудоемкость физических экспериментов, а также верифицировать физико-химические модели, качественно описывающие изменение биологических свойств полимерных материалов под воздействием гибридной плазмы. Измерения, характеризующие изменение гидрофильно-гидрофобных свойств и структуры поверхности полимерных материалов под действием гибридной плазмы автор провел самостоятельно. Автором сформулированы выводы и рекомендации по практическому использованию результатов диссертационного исследования.

Апробация результатов исследования проводилась на 8 российских и международных конференциях, семинарах и симпозиумах. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии автора.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г.

На заседании от 25.12.2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Аунг Мьят Хеин ученую степень кандидата технических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 10 докторов наук по специальности 01.04.08 — «Физика плазмы» и 13 докторов наук по специальности 01.04.14 — «Теплофизика и теоретическая теплотехника», участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 23, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02
д.ф.-м.н., профессор

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02
д.ф.-м.н.



Андреев Н.Е.



Васильев М.М.
25.12.2019г.