

**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 21 марта 2018 г. (протокол № 3)

**Защита диссертации Панова Владислава Александровича
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
«Экспериментальные исследования электрического пробоя в газожидкостных средах»**

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 № 3 от 21 марта 2018 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 11 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 12 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 — ВРИО ученого секретаря диссертационного совета Д 002.110.02
д. ф.-м. н., профессор Василяк Л.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	Василяк Л.М.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
5	Васильев М.М.	К.ф.-м.н.	01.04.08	Присутствует
6	Агранат М.Б.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.14	Присутствует
7	Амиров Р.Х.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.08	Присутствует
8	Баженова Т.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
4	Вараксин А.Ю.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
9	Васильев М.М.	К.ф.-м.н.	01.04.08	Отсутствует
10	Васильев М.Н.	Д.т.н., профессор	01.04.14	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	Отсутствует
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	Присутствует
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 научного сотрудника лаборатории № 4.2.1. — плазменных технологий НИЦ-4 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) **Панова Владислава Александровича** на тему «Экспериментальные исследования электрического пробоя в газожидкостных средах». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы. Диссертация выполнена на кафедре физической механики факультета аэрофизики и космических исследований Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственного университета)».

Научный руководитель:

Сон Эдуард Евгеньевич – доктор физико-математических наук, профессор, академик, заведующий кафедрой физической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московского физико-технического института (государственного университета)»

Официальные оппоненты:

Коробейников Сергей Миронович — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой Безопасности труда Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирского государственного технического университета».

Акишев Юрий Семенович — доктор физико-математических наук, профессор, начальник лаборатории кинетики слабоионизованной плазмы Акционерного общества "Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований".

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (г. Томск).

На заседании присутствуют официальные оппоненты Коробейников С.М., Акишев Ю.С., научный руководитель Панова В.А. Сон Э.Е.

Председатель

На этом с первой защитой всё. У нас есть еще одна диссертация. Я предлагаю не терять времени, перейти тогда к защите. Мы переходим ко второму основному пункту нашего заседания. Это защита диссертации Панова Владислава Александровича. Все документы у Леонида Михайловича и, пожалуйста, ознакомьте нас.

Василяк Л.М.

В диссертационный совет поступило заявление Панова Владислава Александровича с просьбой принять к защите диссертацию по теме «Экспериментальные исследования импульсного пробоя в газожидкостных средах» на соискание учёной степени физико-математических наук по специальности 01.04.08 — «Физика плазмы», научный руководитель академик Сон Эдуард Евгеньевич. В деле имеются все необходимые документы для рассмотрения диссертации. Панов окончил Московский физико-технический институт и аспирантуру, работа выполнена там же — в МФТИ. Есть ли вопросы по личному делу?

Председатель

Если вопросов нет, тогда мы можем перейти к рассмотрению работы по существу и, Владислав Александрович, пожалуйста, 20 минут и изложить основные Ваши результаты.

Панов В.А.

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Панова В.А. прилагается).

Председатель

Спасибо большое, Владислав Александрович, за достаточно сжатое и ясное изложение. Вопросы? Пожалуйста.

Амиров Р.Х.

Я обратил внимание, что в представленных результатах у Вас разряд развивается в неоднородной геометрии. У Вас острый анод и плоский катод. Значит, следующие вопросы: из каких соображений выбирался радиус скругления анода, что будет, если анод будет плоским, и что будет если анод будет плоским, а катод — острым?

Панов В.А.

Спасибо за вопрос. Он частично пересекается и с замечаниями из поступивших отзывов на автореферат. В целом, геометрия промежутка выбиралась близкой к той, которая предполагалась к использованию в реальных установках по очистке. Радиус скругления анода выбирался из соображений возможности сравнения с данными, представленными в литературе по данной тематике. Если оба электрода будут плоскими то в исследованном диапазоне напряжений развитие по «тепловому» механизму, вероятнее всего, невозможно, механизм разряда будет иным. И если поменять полярность, т.е. острым будет катод — затрудняюсь ответить наверняка, эффект полярности для таких сред известен, в данной работе рассматривался разряд с анода, а разряд с катода требует отдельного самостоятельного исследования.

Савватимский А.И.

Технический короткий вопрос. Катод заземляется?

Панов В.А.

Да.

Савватимский А.И.

Спасибо.

Воробьев В.С.

Казалось бы, тут было бы логичным провести исследования с предельно электрически прочной водой, обезгаженной дистиллированной, чтобы подчеркнуть отличия. Проводились ли такие исследования.

Панов В.А.

Если коротко, то нет. Эксперименты проводились в воде с минимальной удельной проводимостью 35 мкСм/см, по ГОСТу для дистиллированной воды допускается удельная проводимость до 5 мкСм/см, то есть достаточно близкие значения. Но при этой проводимости также наблюдался переход от «теплого» механизма разряда к «стримерно-лидерному».

Воробьев В.С.

Но все-таки, как Вы думаете, в такой воде будет другой механизм?

Панов В.А.

Да, в «чистой» воде классический механизм — «стримерно-лидерный», со значительно большими скоростями роста канала и при значительных напряжениях.

Председатель

Ответ получен.

Вараксин А.Ю.

Когда Вы говорите о газо-жидкостной среде, то два основных определяющих параметра — это диаметр пузырьков и газосодержание. Значение диаметра Вы озвучили. Про газосодержание — тоже были продемонстрированы графики. Фигурировали значения 0.1, 1 %. Вопрос сводится к тому, как Вы вводите пузырьки, поскольку в газо-жидкостном потоке есть градиентность профилей и газосодержания и распределения размеров. То есть, к какому сечению относится распределение диаметров? второй вопрос: если пузырьки будут другого размера, что изменится в Ваших выводах.

Панов В.А.

Спасибо за вопрос. Пузырьки в объеме жидкости создавались методом декомпрессии. То есть жидкость, предварительно газированная под давлением, затем подавалась в экспериментальную ячейку, где и образовывались микропузырьки. Определение размеров пузырьков проводилось по их теневым изображениям, обработанным статистически. В принципе, перемешивание достаточно равномерное, поэтому при обработке изображений считалось, что по третьему направлению распределение то же самое. Второй вопрос — зависимость от размеров пузырьков. Да, по-видимому, будет зависимость, потому что в пузырьках не любого размера при заданной напряженности возможно развитие пробоя, и, соответственно, их влияние на механизм будет зависеть от того, развился пробой в пузырьке или же нет.

Вараксин А.Ю.

То есть если пузырьки будут в два, в четыре раза больше, то?

Панов В.А.

То возможно, что пробой в пузырьках не произойдет, и развитие будет проходить по «тепловому» механизму.

Председатель

Так, еще есть вопросы к Владиславу Александровичу?

Коробейников С.М.

А как Вы разделяли исследуемые конфигурации с пузырьками? То есть когда Вы проводите декомпрессию, то пузырьки также садятся и на поверхность электродов. Как Вы их разделяли?

Панов В.А.

Да, эта проблема действительно возникала в первых экспериментах. Для того чтобы разделить исследуемые конфигурации, в последующих экспериментах электроды закрывались от газированной жидкости защитными чехлами вплоть до момента подачи напряжения.

Коробейников С.М.

И пузырьки не успевали осесть на электродах?

Панов В.А.

Нет. Состояние поверхностей перед подачей напряжения контролировалось по теневым изображениями, на которых не было заметных поверхностных пузырьков.

Председатель

Еще вопросы, пожалуйста. Вопросов больше не слышно. Тогда, Эдуард Евгеньевич, пожалуйста, о человеке.

Сон Э.Е.

У меня было много аспирантов, и, как правило, он делятся на экспериментаторов и теоретиков. Был один случай, когда это было не так, но вот Владислав — это типичный очень хороший экспериментатор. Он пришёл на Физтех. Как и большинство студентов Физтеха, которые поступают не из Москвы, а с периферии, его родители в Перми, он оттуда приехал. Поступил в 16 лет. На втором курсе у них начинаются лекции по физической механики, которые я им читаю. Я с ним начал работать в магистратуре, то есть лет двадцать ему было, когда он начал заниматься этой задачей. Сначала задача была поставлена в магистратуре. А затем продолжение работ в аспирантуре. Тогда возникло две задачи, которые я поставил. Первая зада такая. В химической промышленности есть такая частая ситуация, когда у вас, например, горючее находится в жидкой фазе, а окислитель в газовой фазе окислитель. Например, горение в двигателе внутреннего сгорания и т.д. В частности, получение полипропилена идёт через окисление изобутана. Изобутан — это такое вещество, которое получается при переработке нефти...

Председатель

Эдуард Евгеньевич, а как окислитель влияет на характеристики соискателя?

Сон Э.Е.

Он влияет самым прямым образом, потому что оказалось, что есть центральная проблема химических технологий. Если у вас есть химическая реакция, которая идёт между газом и жидкостью, то дополнительную энергию можно вложить только при помощи электричества. Вклад электричества через электрический разряд. А распределенный разряд в жидкости просто так создать нельзя, поэтому возникла идея использовать пузырьковую среду. Поэтому первой задачей было решить эту проблему, которая ранее никем не была решена. Вторая задача возникла при разработке взрывобезопасного трансформатора. Было предложено использовать демпфирующие

свойства газожидкостной среды. А дальше возник вопрос, будет ли пробиваться такая среда. Поэтому вторая часть работы Владислава посвящена этой проблеме. С этими двумя задачами он справился успешно. Добавлю, что у него большая часть работа выполнена на промышленных установках, и которую он не включил в диссертацию. Это была моя борьба с ним. Я предлагал включить в диссертацию плазмохимический реактор, который он создал. В качестве примера могу сказать, что когда мы поставили такой реактор в Корею, в крупную компанию, послали им, они его распаковали, месяц собирали и сказали: «Не работает ваша установка. Пришлите нам инженера». А я сказал, что инженеров у меня нет, а есть два студента. А они тогда еще были студентами. Второй — Куликов Юрий, находится сегодня тоже в этом зале. Они поехали, за два дня закупили недостающее и запустили установку. Мне оттуда звонят, и просят оставить их работать у них. Но у них были свои планы. Один уехал в Англию на летнюю школу, а Владислав продолжил экспериментальные работы. Поэтому, работа, которую он провел, я считаю что она уникальная и человеком этим горжусь. Он, и многие в этом зале подтвердят это, один из самых организованных людей. Организаторские качества у него очень высокие. Он единственный аспирант в ИВТАНе, который выиграл грант на оборудование. То есть он грамотно подготовил заявку и прошел все остальные процедуры. Последнее, что я хотел бы сказать, это то, что когда решался вопрос о том, какую организацию выбрать в качестве ведущей организации, у нас принцип, как всегда, был такой: нужно выбрать самых лучших специалистов в России. И вот, ведущая организация — Институт сильноточной электроники Сибирского отделения, в котором работали Месяц и другие. А в России — вот сидит Сергей Миронович Коробейников, который в России является основоположником этого направления. То есть первые исследования пробоя с пузырьками в мире провел именно он. Поэтому мы начинали с его работ и исследовали пузырьки на поверхности, а потом перешли к объёмным пузырькам. А второй оппонент — Юрий Семёнович Акишев, является классиком в области электрических разрядов, начиная с электроионизационных лазеров и заканчивая двухфазными средами, которыми он сейчас занимается.

По-моему работа хорошая, сам Владислав характеризуется очень хорошо. Что самое главное, как и все мои ребята-экспериментаторы, он в лаборатории все делает сам. Умеет работать на различных станках. Он ничего не говорил про оборудование лаборатории, но многое в ней было сделано им самим.

Председатель

Спасибо, Эдуард Евгеньевич. У нас есть письменные отзывы на автореферат, с которыми Леонид Михайлович нас ознакомит сейчас.

Василяк Л.М.

На диссертацию поступил **отзыв от ведущей организации** — из Института сильноточной электроники СО РАН. Отзыв подписан Королёвым, одним из ведущих специалистов в области газового разряда. Отзыв положительный, имеется два замечания.

Первое: «В работе действительно продемонстрировано, что увеличение перенапряжения (особенно применительно к воде с пониженным удельным сопротивлением) приводит к уменьшению времени образования высокопроводящего канала, т.е. фактически времени запаздывания пробоя. Однако тот факт, что в условиях эксперимента происходит смена механизма явлений в предпробойной стадии является скорее декларированием, чем убедительно обоснованным утверждением. Точно также, опираясь на так называемую тепловую модель, можно сказать, что уменьшение времени запаздывания связано с тем, что при повышенном напряжении газовые микропузырьки образуются за существенно более малые времена».

Второе замечание: «В качестве пожелания можно отметить, что автору следовало бы уделить больше внимания представлению результатов исследований условий начала ионизации во влажном песке. Этот раздел работы обладает самостоятельной практической ценностью, а не

только является некоторым вспомогательным материалом для сравнения с обнаруженными закономерностями для пробоя в проводящей воде».

Указывается, что сделанные замечания не снижают уровень диссертации и не влияют на сделанные выводы.

Кроме этого, в совет поступило **пять отзывов на автореферат**. Все они положительные, имеются замечания.

Первый отзыв из Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева-КАИ, подписан заведующим кафедрой технической физики доктором физ.-мат. наук профессором Гайсиным. Отзыв положительный, без замечаний.

Второй отзыв из Дагестанского государственного университета от проректора по научной работе, доктора физ.-мат. наук Ашурбекова. Имеется одно пожелание: « с учетом экспериментальных сложностей исследования электрического пробоя в газожидкостных средах, было бы желательно провести отдельный анализ возможных погрешностей измерений и воспроизводимости результатов измерений».

Третий отзыв из МИФИ, от зав. кафедрой физики плазмы, доктора физ.-мат. наук Курнаева. Имеется два замечания.

Первое: «В качестве замечания следует отметить некоторые неточности при описании экспериментальных результатов. Например, при описании изменения вольтамперных характеристик, приведенных на рис.2, говорится об уменьшении наклона ВАХ для режима 2 по отношению к режиму 1, хотя показанные участки ВАХ практически параллельны».

Второе: «Другой пример: при описании рис. 10 можно прочесть "начальный участок ВАХ, на котором выполняется закон Ома вплоть до точки перегиба ...". Однако в указанной точке происходит не перегиб, а резкий излом вольт-амперной характеристики с последующим выходом на участок отрицательного дифференциального сопротивления. Точка же перегиба с нулевой второй производной находится на другом участке ВАХ, соответствующем фазе завершения пробоя».

Четвертый отзыв из МЭИ, от доцента кафедры техники и электрофизики высоких напряжений, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника Темникова. Имеется замечание: «погрешность измерения пробивного напряжения, приведенная на рисунке 9, довольно высока, поскольку при исследовании статического пробоя эта погрешность ниже».

Пятый отзыв из Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева от доктора физ.-мат наук Лебедева. Отзыв положительный, без замечаний.

Председатель

Это все отзывы?

Василяк Л.М.

Да, все, пять отзывов.

Председатель

Спасибо большое. Пожалуйста, Вам время для ответов на замечания, на существенные.

Панов В.А.

Спасибо. В том же порядке, что и озвучивалось?

Председатель

Да, пожалуйста.

Панов В.А.

Замечания ведущей организации.

Действительно, стопроцентного подтверждения того, что на начальном этапе развития разряда происходит смена механизма его развития, нет. Однако, после того, как появляется плазменная область, та скорость, с которой распространяется выделившийся канал, она для «теплового» механизма и для «стримерно-лидерного» отличается на три порядка. И именно на её изменение мы и ориентировались, когда говори, что происходит смена механизма. А так да, действительно, и в рамках «теплового» механизма повышение напряженности в прианодной области приводит к уменьшению времени инициации разряда.

Со вторым пожеланием, касающемся представления результатов по пробую в грунтах, я согласен.

По поступившим отзывам на автореферат.

От Валерия Александровича Курнаева из МИФИ по поводу наклона ВАХ. Действительно, выбран не самый удачный пример, однако, имеются серии, которые более контрастно показывают это изменение.

Отзыв из МЭИ, по поводу погрешностей. Также согласен, они связаны с пульсациями напряжения в реализованной схеме.

Председатель

Спасибо. Мы переходим тогда к ознакомлению с мнениями оппонентов. Сергей Миронович Коробейников, Вам первое слово. Пожалуйста.

Коробейников С.М.

Работа мне понравилась, отзыв положительный. Что понравилось и не понравилось одновременно — работа очень большая. Эксперименты хорошие, но, на мой взгляд, на кандидатскую половину можно было отцепить. По крайней мере, то, что касается грунтов, можно было бы смело определять в отдельную работу. Задача относится к несколько другой области и усложняет восприятие диссертации. Когда я защищал докторскую диссертацию мне Вершинин Юрий Николаевич сказал: «Вообще ты зря шестую главу написал. Я единственный, кто её прочитал, никто больше не прочитал». Так вот и здесь тоже, можно было обойтись без неё. А так экспериментальная работа очень хорошая, предложенный механизм, это медленное развитие разряда «теплового» — очень хорошее объяснение, очень правдоподобное и мне оно нравится. Тем более обнаружен резкий переход при пониженной проводимости. В этом плане сомнений нет.

А замечания я все-таки читаю.

Первое замечание, которое может одновременно являться и похвалой и замечанием: в первой главе у него очень качественный обзор проведен. Я прямо поразился, то есть он мои же собственные работы очень кратко резюмировал. Но, в то же время, на них не сформулированы задачи. А задачи как будто потом сами появились, и они, как бы, оторваны. То есть прямой такой связки нет.

У меня здесь замечания самые разные, они выписаны просто по порядку, но не по значимости, по мере их возникновения.

(Второе замечание) Вот та использованная система электродов — нетрадиционная. Я всю жизнь занимаюсь пробоями, и обычно это «остриё-плоскость», «плоскость-плоскость» — вот самые такие традиционные. А здесь — остриё стержень, непонятная мне система, и нет обоснования её выбора. Может, если бы обоснование было, то и не было бы такого вопроса.

Редакционные замечания и некоторые опечатки я тогда опускаю, не будем о них говорить.

(Третье замечание) Далее, здесь уже тоже упоминалось, экспериментальная установка очень хорошо описана, но почему именно такие параметры установки осталось неизвестным. То есть я понимаю, обычно, что можем, то и делаем, но всё равно это нужно как-то описать.

(Четвертое замечание) Ну и тоже вопрос уже возникал, а почему разряд только с анода, почему не с катода. Объяснение тоже не дано.

(Пятое замечание) Не показано, насколько воспроизводимы динамические вольт-амперные характеристики. Я вообще, честно говоря, их терпеть не могу и считаю что это вообще какая-то не наука, но, по крайней мере, показать бы, что они воспроизводимы, что именно такой вид всегда возникает. Там показано, картинки есть, но ни ошибок, ничего нет.

(Шестое замечание) Далее, механизм возникновения неустойчивости сферической области. Не описан. Мне кажется, но эту уже моя вольная трактовка, что поскольку у вас в плазме проводимость все равно выше, чем проводимость в воде, то будет неустойчивость заряженной поверхности. Эти работы были, в них характерная длина неустойчивости $\lambda = \sigma(\epsilon E^2)^{-1}$. То есть можно было бы оценить, примерно соответствует вашим данным, или нет.

(Седьмое замечание) В экспериментах с добавкой изопропилового спирта, которые были направлены на выяснение влияния коэффициента поверхностного натяжения, на самом деле натяжение меняется в два раза, но теплота парообразования меняется в четыре раза, и на самом деле, скорее этот фактор являлся главным. На самом деле, эту работу тоже можно было бы отцепить.

(Восьмое замечание) Далее, зачем косвенным образом определять качественно растворимость элегаза в масле. Его растворимость известна, это справочные данные, которые можно посмотреть. А там просто из экспериментов в работе это было качественно определено.

(Девятое замечание) На мой взгляд, неправильно использовать термин «газосодержание». Обычно, под этим понимается содержание растворённого газа в жидкости. А у вас — содержание нерастворённых пузырьков. По крайней мере, у нас, в технике высоких напряжений, этот термин имеет иное значение.

(Десятое замечание) Замечание по разделу 3.3.1 тоже мелкое.

(Одиннадцатое замечание) Проводимость плазмы в пузырьках, по оценке автора примерно на три порядка выше, чем у окружающей воды. А значит энерговыделение при последовательном соединении плазмы и пузырька должно быть где? Где проводимость меньше, т.е. в воде. А здесь утверждается, что в плазме.

Эти замечания, не смотря на то, что их много накопилось, тем не менее, хорошая работа — она всегда вызывает много замечаний, тем более она объёмная. Поэтому я считаю, что диссертант соответствует уровню кандидата наук, квалификация у него есть, она достигнута, и можно присудить искомую степень.

Председатель

Спасибо, Сергей Миронович. Вопросы есть к оппоненту? Если нет, тогда мы переходим к мнению... Ах да, сначала ответ. Конечно.

Панов В.А.

(Первое замечание) По поводу того, что после лит. обзора не приведены задачи. Действительно, постановка вынесена во Введение. Возможно, следовало бы дать постановку задач сразу после главы с лит. обзоров, чтобы она была более прозрачной.

(Второе замечание) По поводу использованной электродной системы — ответ уже прозвучал ранее при обсуждении.

(Третье замечание) По поводу параметров установки. По электродной системе ответ уже дан. По поводу выбранной формы импульса. Использование ГИНа с ударной ёмкостью было обусловлено необходимостью создания длинного импульса на низкоомной нагрузке. Возможно, Сергей Миронович мог бы пояснить, про какие именно параметры идет речь в замечании?

Коробейников С.М.

Вообще у Вас нет обоснования выбора параметров данной экспериментальной установки.

Панов В.А.

Какого-то конкретного параметра?

Председатель

Выбора источника.

Панов В.А.

Выбранный источник был единственным из тех, что способен обеспечить напряжение на низкоомной нагрузке...

Председатель

Ну вот, об этом то и речь. То есть ответ получен?

Коробейников С.М.

Да.

Панов В.А.

(Четвертое замечание) Почему исследовался разряд только с анода я уже пояснял.

(Пятое замечание) По воспроизводимости динамических ВАХ. Действительно, их воспроизводимости отдельного пункта не посвящено. Отдельно погрешности измерения тока и напряжения — они приведены во второй главе. Но можно сказать, что если характерные времена зажигания разряда и общего времени пробоя совпадают, а сами они, конечно, имеют некоторый разброс, то динамические ВАХ повторяют друг друга с очень хорошей точностью. То есть переходный участок с отрицательным наклоном — он также повторяется при близких характерных временах и напряжении пробоя.

(Шестое замечание) Далее, механизм возникновения неустойчивости сферической области, его Сергей Миронович уже частично обсудил. Если судить по форме ответвлений, которые возникают на её поверхности, то также можно предположить Релей-Гейлоровскую неустойчивость.

(Седьмое замечание) Далее, про влияние добавки изопропилового спирта. Частично ответ уже прозвучал. Следует добавить, что все-таки на первой стадии, когда происходит зародышеобразование, именно коэффициент поверхностного натяжения входит в экспоненциальный член, да еще и в третьей степени. А все остальные параметры — теплоёмкость и прочее, они в частоту зародышеобразования не входят, а на остальных стадиях входят в первой и во второй степени. То есть, по нашему мнению, на начальном этапе именно коэффициент поверхностного натяжения оказывает решающее влияние.

(Восьмое замечание) Далее, про косвенное определение растворимости элегаза в масле. Установление данного факта носит в работе вспомогательный характер и не являлось основной целью. Он лишь помог скорректировать постановку дальнейших экспериментов и отказаться от повторного использования газированного масла в серии экспериментом, а перейти к использованию всё время новых порций масла. Действительно, возможно не стоило выносить это в текст диссертации, но тем не менее.

(Девятое замечание) По поводу употребления термина «газосодержание». Здесь уже даже была небольшая дискуссия. Здесь всё понятно, с замечанием согласен.

(Десятое замечание) По пункту 3.3.1, который не имеет отношение к работе. Пункт посвящен демпфирующим свойствам такой среды. Нами он был проведен для того, чтобы обозначить себе некоторый диапазон газосодержания, для которого дальше исследуются электрические свойства. Возможно, не следовало выносить этот раздел, а сослаться на опубликованную работу.

Сон Э.Е.

Без этого раздела и остальная работа была бы не нужна.

Панов В.А.

(Одиннадцатое замечание) И про проводимость плазмы в пузырьках и область основного энерговыделения. Все-таки, в ситуации, когда образовавшиеся пузырьки окружены жидкостью, а именно так и происходит в эксперименте, соединение следует считать последовательно-параллельным, чем просто последовательным. То есть если сравнивать ионизованную область и оставшийся промежуток, то основное энерговыделение должно происходить в воде и на фронте канала, что, собственно, и происходит. Однако если рассматривать ионизованную область, и жидкость, оставшуюся по краям, то основное энерговыделение должно происходить в ионизованной области.

Коробейников С.М.

Но у Вас же расширение в основном происходит по полю?

Председатель

По видимому, основное энерговыделение происходит там, где ток течет, а где именно он протекает мы с вами сейчас точно не решим. Поэтому я предлагаю здесь дальше в дискуссию не вступать.

Панов В.А.

Хорошо.

Председатель

Вы всё сказали, что хотели?

Панов В.А.

Да.

Председатель

Спасибо большое. Тогда мы перейдем к ознакомлению с мнением второго рецензента, Юрия Семёновича Акишева. Пожалуйста.

Акишев Ю.С.

Во-первых, здравствуйте, уважаемые члены Совета, коллеги, которые здесь собрались. Диссертацию мы уже выслушали, Владислав её достаточно подробно её рассказал и много вопросов уже было. Я поделюсь с вами, прежде всего, общим впечатлением об этой работе. Прежде всего мне хочется отметить научную смелость Владислава. Представьте себе, работы по электрическим разрядам в жидкости проводятся уже многие десятки лет, и, казалось бы, это поле уже достаточно пропаханное, и что там можно нового получить. Тем не менее, Владислав имел такую смелость, вошёл на это истоптанное поле, внимательно огляделся и, тем не менее, нашёл свою нишу в этом деле. То есть, он выяснил, что в основном все исследования касались перенапряженных разрядов короткой длительности, либо это стационарные разряды, которые, фактически, являются дуговыми разрядами. Он нашел такую нишу с, так сказать, промежуточными разрядами — средняя длительность в миллисекундном диапазоне и не слишком перенапряженные. Физика таких разрядов оказалась недостаточно изученной, там много открытых вопросов осталось. Как раз из анализа литературы он сумел эти вопросы установить, и, в итоге, сформировать задачи для своих исследований. После того, как он их сформировал, он под эти задачи создал экспериментальную установку, соответствующую диагностику наладил, в итоге

провел исследования, оформил их в виде многих статей и докладов на конференциях, а также в виде квалификационной работы — кандидатской диссертации.

Что мне понравилось в работе. Когда речь идет о перенапряженном пробое короткой длительности то один из основных вопросов, и много дискуссий на эту тему и много механизмов выдвинуто, это формирование пузырьков — либо они существуют в виде микропузырьков в жидкости, возникает вокруг формирования пузырьков: существуют ли они сразу на поверхности, либо формируются в жидкости под действием приложенного напряжения. В общем, много дискуссий на эту тему. Это действительно очень важный момент для таких импульсных перенапряженных разрядов. А Владислав как раз легко обошел его, этот момент, когда перешёл в другую область времен, то есть в область времен миллисекундного диапазона, где времени вполне достаточно, чтобы «тепловой» механизм и эти пузырьки сформировались, либо, что еще интереснее, он просто эти пузырьки ввёл в исследуемую жидкость, и дальше смотрел уже влияние этих пузырьков на динамику разряда, которые находятся либо в объёме, либо посажены на поверхность электродов. И, кстати, я хочу отметить экспериментальные достижения, потому что сам метод ввода пузырьков, это тоже не тривиально, и метод посадки этих пузырьков на поверхность электродов тоже требовал экспериментаторского искусства, которое Владислав как раз продемонстрировал. Те результаты, которые получены, интересны не только с точки зрения физики, поскольку они очень расширили физическую картину разряда в жидкости, а кроме того эти исследования могут служить базой для построения теоретических представлений того типа разрядов, то есть разрядов миллисекундной длительности и не сильно перенапряженных. С другой стороны, большая практическая направленность, а именно, на пример, если говорить про песок, то молниезащита — современные устройства, которые регулируют все сети передачи электроэнергии, критерии защиты для них были сформулированы еще в те времена, когда микроэлектроника еще не получила должного развития, а сейчас различные микроэлектронные устройства, которые управляют всем этим хозяйством, они достаточно нежные и требуют более лучшей электрической защиты, и эти работы могут служить фундаментом для того, чтобы предложить новые методы защиты управляющих систем для распределения электроэнергии.

Можно еще перечислять положительные моменты, в целом мне диссертация понравилась, несмотря на то, что диссертация большая, тем не менее каждый кусок диссертации имеет свою научную ценность и практическое приложение. Я считаю, что всё нормально в этом смысле. Любая работа, она не свободна от недостатков, поэтому я хочу зачитать **три замечания**, которые возникли в результате чтения диссертации.

Первое. Для выяснения роли коэффициента поверхностного натяжения, который будет влиять на длительность начальной стадии в соответствии с предложенной в диссертации моделью, были проведены эксперименты с раствором спирта в воде. Результаты экспериментов кратко изложены в разделе 3.1.6. Однако добавка спирта изменит также удельную теплоемкость, температуру кипения, теплоту испарения и диэлектрическую проницаемость смеси, которые тоже влияют, как следует из модели с тепловым механизмом на первой стадии, на время образования пузырьков пара. Автору следовало бы указать влияние данных факторов по сравнению с изменением коэффициента поверхностного натяжения.

Второй вопрос, связанный с электрическими измерениями. В главе 3 в схеме эксперимента момент пробоя разряда фиксируется по измерению напряжения с помощью резистивных делителей без емкостной компенсации. Для используемых напряжений 70 кВ величина сопротивления в высоковольтном плече делителя будет на уровне десятков МОм, будут велики также геометрические размеры, чтобы избежать электрического пробоя, следовательно, будут велики монтажные емкости, которые будут определять фронт нарастания регистрируемого импульса, снижать полосу регистрируемых частот и вносить погрешности в регистрацию начала пробоя. Данный вопрос не обсуждается при изложении схемы эксперимента.

И третье замечание. На странице 94 в разделе 4.1.2 указано, что «Лапласовым давлением можно пренебречь по сравнению с атмосферным и дополнительным электрострикционным». Как

это утверждение согласуется с экспериментами по выяснению роли коэффициента поверхностного натяжения?

В заключении хотел сказать, что, во-первых, хочу поздравить Эдуарда Евгеньевича с тем, что воспитал хорошего ученика и Владислав имеет все шансы стать большим учёным в будущем, и поэтому я призываю уважаемых членов диссертационного совета отдать свои голоса за присуждение учёной степени Владиславу.

Председатель

Спасибо большое, Юрий Семёнович. Я думаю, что вопросов к оппоненту нет? Поэтому перейдем к ответам на замечания, которые были. Значит, **первое замечание уже обсуждалось?**

Панов В.А.

Да. Даже неоднократно.

По второму замечанию, использованию нескомпенсированного делителя, здесь я согласен. Мне следовало в диссертации уточнить, что величина напряжения измерялась зеркальным киловольтметром а с делителей снимался сигнал для того, чтобы зарегистрировать факт пробоя для запуска остального оборудования, которое также участвовало в эксперименте, поэтому непосредственно к передаточным характеристикам требований не было. Это действительно следовало отразить в тексте диссертации.

И по третьему замечанию, по влиянию Лапласова давления, здесь также следовало уточнить в тексте диссертации, что речь идёт о разных этапах развития разряда. Так же, как и в случае с коэффициентом поверхностного натяжения, оно играет разную роль на разных этапах развития разряда. Соответственно, на начальных этапах развития разряда, где всё происходит вблизи анода, там Лапласовым давлением действительно можно пренебречь по сравнению с электрострикционным. Однако, после того, как область расширяется и средняя напряженность поля сильно падает, здесь его влияние становится более значительным.

Председатель.

Спасибо. Диссертация открыта для дискуссий. Пожалуйста, кто хочет высказаться? Пожалуйста, Михаил Борисович.

Агранат М.Б.

Я с интересом послушал диссертацию и вот почему. Раньше не знал, что такие работы ведутся у Эдуарда Евгеньевича. У нас сейчас в лаборатории ставится эксперимент по введению в поверхностный слой жидкости мощного постоянного электрического поля с помощью террагерцового источника. Вводится за одну пикосекунду поле с напряженностью до 100 МВ/см. Начальный этап — там понятно, что будет, а вот дальше, с этим мы и будем к Вам обращаться.

Сон Э.Е.

Электрострикция будет?

Агранат М.Б.

Вероятно. Теперь стало ясно, кто нам сможет помочь. Работа, я считаю, интересная, и заслуживает присуждения.

Председатель

Спасибо, Михаил Борисович, за замечания, которые расширяют область применимости полученных результатов. Еще есть пожелания высказаться? Пожалуйста, Леонид Михайлович.

Василяк Л.М.

Я хорошо знаком с работой, я её представлял в декабре на совете. Моё мнение после заслушивания, оно только возросло и утвердилось в том, что работа очень хорошая, по всем параметрам, которые касаются требования ВАК, выполняется по фактическим и по неформальным требованиям. Поэтому, с моей точки зрения, совет поступит правильно если мы поддержим эту работу и проголосуем за присуждение искомой степени.

Председатель

Спасибо, Леонид Михайлович. Я думаю, что других мнений нет, поэтому предлагаю предоставить заключительное слово соискателю, если Вы хотите что-нибудь сказать. Это необязательно.

Панов В.А.

Во-первых, хотелось бы поблагодарить учёный совет за возможность выступить, конечно Эдуарда Евгеньевича за чуткое руководство, коллектив, в котором мне посчастливилось выполнять эти исследования, всех кто помогал и кого я не упомянул вследствие расстроенного защитой сознания. Спасибо!

Председатель

Разрешите я тогда выражу полное удовлетворение работой счётной комиссии и в связи с этим предложу продолжить работать ей же и перейти к голосованию, если нет возражений Совета, конечно. Возражений нет (*Ломоносов Игорь Владимирович — председатель, Кириллин Александр Владимирович, Грязнов Виктор Константинович*). Прошу голосовать (*проводится процедура тайного голосования*).

Ломоносов И.В.

Уважаемые коллеги, уважаемый председатель. Розданных бюллетеней 23, осталось не розданных 8, в урне оказалось 23 бюллетеня. Результаты голосования по вопросу присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук Панову Владиславу Александровичу: 23 голоса «за», против — нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель

Спасибо. Я так понимаю, что аплодисменты можно признать за положительное голосование за результаты. Давайте проголосуем (*проходит голосование*). Единогласно. Теперь, пожалуйста, по проекту заключения. (*Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения*). Если замечаний большей нет, Владислав, пожалуйста, внесите правки. (*Проект заключения принят единогласно*).

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 21.03.2018г. № 2

О присуждении Панову Владиславу Александровичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Экспериментальные исследования электрического пробоя в газожидкостных средах» по специальности 01.04.08 – физика плазмы принята к защите 27.12.2017г., (протокол заседания № 23) 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 Панов Владислав Александрович 1991 года рождения, в 2013 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

Работает в должности научного сотрудника лаборатории № 4.2.1. – плазменных технологий НИЦ-4 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

В 2017 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

Диссертация выполнена на кафедре физической механики факультета аэрофизики и космических исследований Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московского физико-технического института (государственного университета)».

Научный руководитель доктор физико-математических наук, профессор, академик, заведующий кафедрой физической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московского физико-технического института (государственного университета)» Сон Эдуард Евгеньевич

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой Безопасности труда Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирского государственного технического университета» Коробейников Сергей Миронович;

- доктор физико-математических наук, профессор, начальник лаборатории кинетики слабоионизированной плазмы Акционерного общества "Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований" Акишев Юрий Семенович

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (г.

Томск) в своем положительном заключении, составленном зав. лабораторией низкотемпературной плазмы д.ф.-м.н. Королевым Ю.Д. (утвержденном 26.02.2018г. директором академиком Ратахиным Н.А.) указала, что научная значимость работы определяется в первую очередь новизной полученных результатов практически по всем направлениям работы. Например, получены данные по иницированию разряда и развитию пробоя в воде с повышенной проводимостью при воздействии импульсов напряжения миллисекундной длительности. Интересны также результаты по влиянию газовой фазы на развитие разряда в воде и на электроизоляционные и демпфирующие свойства газожидкостной смеси с трансформаторным маслом.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях, разрабатывающих энергетическое оборудование и системы очистки воды, в частности, в Объединенном институте высоких температур РАН, в Институте сильноточной электроники Сибирского отделения РАН (ИСЭ СО РАН), в Институте электрофизики и электроэнергетики РАН, в Санкт-Петербургском, Московском, Дагестанском государственных университетах. Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН, в Институте Общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Физико-энергетическом институте им. А. И. Лейпунского, Московском физико-техническом институте (государственном университете), в Национальном исследовательском университете «МЭИ», НИЦ «Курчатовский институт», НПО «ЛИТ», ПАО «ФСК ЕЭС», АО «НПО «Стример».

Соискатель имеет 10 опубликованных работ по теме диссертации в реферируемых журналах из списка ВАК, 16 тезисов в сборниках трудов конференций, получен 1 патент:

1. *Василяк Л. М., Ветчинин С. П., Панов В. А., Печеркин В. Я., Сон Э. Е.* Электрический пробой при растекании импульсного тока в песке // Прикладная физика. — 2014. — № 4. — С. 20–25
2. *Василяк Л. М., Ветчинин С. П., Панов В. А., Печеркин В. Я., Сон Э. Е.* Нелинейное растекание импульсного тока и электрический пробой в грунте // ТВТ. — 2014. — Том 52, вып. 6. — С. 825–831
3. *Panov V. A., Kulikov Y. M., Son E. E., Tyuftyaev A. S., Gadzhiev M. Kh., Akimov P. L.* Electrical Breakdown Voltage of Transformer Oil with Gas Bubbles // High Temp. — 2014. — Vol. 52, No. 5. — P. 770–773
4. *Vasilyak L. M., Pecherkin V. Ya., Vetchinin S. P., Panov V. A., Son E. E., Efimov B. V., Danilin A. N., Kolobov V. V., Selivanov V. N., Ivonin V. V.* Electrical breakdown of soil under nonlinear pulsed current spreading // J. Phys. D: Appl. Phys. — 2015. — Vol. 48. — 28520
5. *Pecherkin V. Ya., Vasilyak L. M., Vetchinin S. P., Panov V. A., Son E. E., Danilin A. N., Ivonin V. V., Kolobov V. V., Kuklin D. V., Selivanov V. N.* Optical investigations of pulsed sparks in soil near electrode // J. Phys.: Conf. Ser. — 2015. — Vol. 653. — 012151
6. *Panov V. A., Vasilyak L. M., Pecherkin V. Ya., Vetchinin S. P., Kulikov Yu. M., Son E. E.* Evolution of electrical discharge channel in isopropyl alcohol solution // J. Phys.: Conf. Ser. — 2015. — Vol. 653. — 012157
7. *Panov V. A., Vasilyak L. M., Vetchinin S. P., Pecherkin V. Ya., Son E. E.* Spark channel propagation in a microbubble liquid // Plasma Phys. Rep. — 2016. — Vol. 42 (11). — P. 1074–1077
8. *Vetchinin S. P., Vasilyak L. M., Pecherkin V. Ya., Panov V. A., Son E. E.* Spark discharge in conductive liquid with microbubbles // J. Phys.: Conf. Ser. — 2016. — Vol. 774. — 012183
9. *Panov V. A., Vasilyak L. M., Vetchinin S. P., Pecherkin V. Ya., Son E. E.* Pulsed electrical

discharge in conductive solution // J. Phys. D: Appl. Phys. — 2016. — Vol. 49. — 385202

10. Панов В. А., Василяк Л. М., Ветчинин С. П., Печеркин В. Я., Савельев А. С. Влияние распределенной фазы газовых пузырьков на импульсный электрический разряд в воде // Прикладная физика. — 2017. — №5. — С. 5–9

11. Панов В. А., Куликов Ю. М., Сон Э. Е. Ячейка для плазмохимической очистки загрязненной жидкости. Патент РФ на полезную модель №134921, приоритет 16 апреля 2013 г., зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 ноября 2013 г., заявка № 2013117072.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева»** (зав. кафедрой технической физики д.ф.-м.н., профессор Гайсин Ф.М.) – отзыв положительный, без замечаний.

2. **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный университет»** (руководитель научно-образовательного центра «Физика плазмы, проректор по научной работе и инновациям» д.ф.-м.н. Ашурбеков Н.А.) – отзыв положительны, с пожеланием:

- с учетом экспериментальных сложностей исследования электрического пробоя в газожидкостных средах, было бы желательно провести отдельный анализ возможных погрешностей измерений и воспроизводимости результатов измерений.

3. **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Национальный исследовательский университет «МИФИ»** (зав. кафедрой физики плазмы д.ф.-м.н., профессор Курнаев В.А.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- следует отметить некоторые неточности при описании экспериментальных результатов. Например, при описании изменения вольтамперных характеристик, приведенных на рис.2, говорится об уменьшении наклона ВАХ для режима 2 по отношению к режиму 1, хотя показанные участки ВАХ практически параллельны.

- при описании рис. 10 можно прочитать "начальный участок ВАХ, на котором выполняется закон Ома вплоть до точки перегиба ...". Однако в указанной точке происходит не перегиб, а резкий излом вольт-амперной характеристики с последующим выходом на участок отрицательного дифференциального сопротивления. Точка же перегиба с нулевой второй производной находится на другом участке ВАХ, соответствующем фазе завершения пробоя.

4. **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»** (доцент кафедры «Техника и электрофизика высоких напряжений» к.ф.-м.н., с.н.с. Темников А.Г.) - отзыв положительный, с замечаниям:

- погрешность измерения пробивного напряжения приведенная на рис. 9, довольно высока, поскольку при исследовании статистического пробоя эта погрешность ниже.

5. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза имени А. В. Топчиева Российской академии наук** (и.о. г.н.с. лаб. Плазмохимии и физикохимии импульсных процессов д.ф.-м.н. Лебедев Ю.А.) - отзыв положительный, без замечаний

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- д.ф.-м.н., профессор Акишев Ю.С. является ведущим ученым в области физики и плазмохимии газовых разрядов постоянного и переменного тока при субатомном и атмосферном давлении, а также крупным специалистом по применению плазмы для биомедицины, экологии и модификации термических поверхностей.

1. Akishev Yu., Karalnik, V; Medvedev, M.; Petryakov, A.; Shafikov, A.; Trushkin, N. Propagation of positive streamers on the surface of shallow as well as deep tap water in wide and narrow dielectric channels // Plasma Sources Science & Technology, Volume 26, Issue 2, p. 025004, 2017;

2. Akishev Yu., Arefi-Khonsari, F.; Demir, A.; Grushin, M.; Karalnik, V.; Petryakov, A.; Trushkin, N. The interaction of positive streamers with bubbles floating on a liquid surface // Plasma Sources Science & Technology, Volume 24, Issue 6, p. 065021, 2015;

3. Akishev Yu., G Aponin, A Balakirev, M Grushin, V Karalnik, A Petryakov, Trushkin N. Spatial-temporal development of a plasma sheet in a surface dielectric barrier discharge powered by a step voltage of moderate duration // Plasma Sources Sci. Technol. 22 (2013) 015004 (9pp).

- д.ф.-м.н., профессор Коробейников Сергей Миронович является признанным специалистом в области физики электрического разряда в жидкостях, соавтор наиболее современной и объемлющей монографии поданной тематике, автор нескольких механизмов инициации и развития электрического разряда в жидкостях.

1. Коробейников С.М., Бычков А.Л., Чимитова Е.В., Демин В.А. Статистический анализ характеристик частичных разрядов в трансформаторном масле у острейшего электрода на переменном напряжении // Проблемы региональной энергетики, 2017.- № 2 (34). - С. 36-44;

2. Коробейников С.М., Овсянников А.Г., Вагин Д.В. Связь кажущегося и истинного зарядов частичных разрядов // Электричество. - 2014. - № 8. - С. 37А-43;

3. Коробейников С.М., Свириденко М.В., Бычков А.Л., Дарьян Л.А. Диффузия и течения в трансформаторном масле: работа масляного затвора // Энергетик. - 2013. -№3.-С. 36-39а.

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук является профильной организацией, специализирующейся на проведении исследований в области физики плазмы, включая физику низкотемпературной плазмы и основы ее применения в технологических процессах, сильноточной электроники, разработке методов генерирования мощных электрических импульсов, эмиссии интенсивных потоков излучения, а также исследования по воздействию мощных потоков энергии на вещество. В лаборатории низкотемпературной плазмы ведутся интенсивные работы по импульсным объемным электрическим разрядам в газах и развитию пробоя в жидкостях.

1. Королев Ю.Д. Плазменные струи на основе слаботочных разрядов в потоке газа. Применение плазменных струй // Российский химический журнал Том 57, номер 3-4. с. 108-120, 2013;

2. Korolev Y.D., Shemyakin I.A., Ivashov R.V., Kasyanov V.S., LandlN.V., Sun Y.H., Shao T., GaoY. Discharge in the saline solutions in a vicinity of the threshold voltages // Journal of Physics: Conference Series vol. 552, p. 012005, 2014;

3. Korolev Y.D., Frants O.B., LandlN.V., Bolotov A. V., Nekhoroshev V.O. Features of a near-cathode region in a gliding arc discharge in air flow // Plasma Sources Sci. Technol. vol.23, no. 5, p. 054016, 2014.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- предложен механизм медленного «теплового» разряда в проводящей воде (35–330 мкСм/см), состоящий из пяти этапов: нагрев жидкости начальными токами проводимости у острия анода, взрывное вскипание и образование паровых пузырьков; ионизация пара внутри пузырьков, достигших критического размера; протекание тока в ионизованных областях; развитие тепловой неустойчивости и образование термически ионизованной плазмы; образование в плазменной области основного канала и его прораствание к катоду;

- экспериментально показано, что при снижении проводимости воды до уровня 90 мкСм/см медленный «тепловой» механизм развития электрического разряда сменяется на быстрый «стримерно-лидерный» при перенапряжении более 2.8;

- обнаружено, что в слабопроводящей воде (35 мкСм/см) при напряжениях близких к пробойному микропузырьки в объеме жидкости приводят к смене медленного «теплового» механизма со временем пробоя ~1.5 мс на быстрый «стримерно-лидерный» с характерным временем пробоя 15–20 мкс при том же напряжении;

- показано, что развитие разряда во влажном песке, как и в проводящей воде, связано с развитием тепловой неустойчивости вблизи высоковольтного электрода, которая приводит к контракции тока и формированию плазменного канала. Предложен новый метод определения величины критической напряженности электрического поля образования и развития плазменного канала во влажном грунте, основанный на анализе вида динамических вольт-амперных характеристик.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- наблюдаемому экспериментально развитию электрического разряда в воде с проводимостью 35–330 мкСм/см дано физическое объяснение, построен «тепловой» механизм пробоя, включающий в себя несколько определенных этапов развития, и установлена важная роль тепловой неустойчивости в развитии разряда;

- выявлена определяющая роль парогазовых микропузырьков в переходе от медленного к быстрому режиму пробоя в слабопроводящей воде.

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

- сформулированные представления о механизме развития электрического разряда в проводящей воде необходимы при разработке в области плазменных методов водоподготовки при выборе наиболее эффективного режима работы источника питания, а именно: при выборе формы импульса напряжения, его амплитуды, периода и скважности;

- данные о влиянии сосредоточенной и распределенной газовой фазы в проводящей воде необходимы для развития этих методов водоподготовки с предварительной аэрацией жидкости с целью повышения эффективности протекания химических реакций;

- полученные данные о демпфирующих и электроизоляционных характеристиках газожидкостной смеси трансформаторного масла с пузырьками элегаза требуются при разработке конструкций высоковольтного маслонаполненного энергетического оборудования;

- данные о формировании и развитии плазменного канала в песке с различной влажностью и установленный критерий начала ионизационных процессов в грунте необходимы для создания более эффективных заземляющих систем молниезащиты;

- получен патент на систему очистки воды.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях, разрабатывающих энергетическое оборудование и

системы очистки воды, в частности, в Объединенном институте высоких температур РАН, в Институте сильноточной электроники Сибирского отделения РАН (ИСЭ СО РАН), в Институте электрофизики и электроэнергетики РАН, в Санкт-Петербургском, Московском, Дагестанском государственных университетах, Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН, в Институте Общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Физико-энергетическом институте им. А. И. Лейпунского, Московском физико-техническом институте (государственном университете), в Национальном исследовательском университете «МЭИ», НИЦ «Курчатовский институт», НПО «ЛИТ», ПАО «ФСК ЕЭС», АО «НПО «Стример».

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что достоверность полученных результатов подтверждается проведением измерений на современном поверенном оборудовании при использовании проверенных ранее методик, анализом погрешностей измерений, согласием результатов, полученных различными методиками. Измерения многократно проводились на большом количестве экспериментальных образцов и показали хорошую воспроизводимость основных стадий развития разряда, а также их согласие с разработанными теоретическими представлениями.

Личный вклад соискателя состоит в развитии конкретных направлений в рамках обозначенной тематики работы, постановке экспериментов. Разработка экспериментальных установок и их реализация, подбор соответствующего экспериментального оборудования проходили при определяющем участии автора. Автор принимал активное участие в проведении основных экспериментальных исследований, а также анализе и интерпретации полученных результатов.

Апробация результатов исследования проводилась на 16 российских и международных конференциях 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 24.09.2013г.

На заседании от 21.03.2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Панову Владиславу Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 11 докторов наук по специальности 01.04.08 — «Физика плазмы» и 12 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

ВРИО ученого секретаря диссертационного совета Д 002.110.02
д.ф.-м.н., профессор



Handwritten signature in blue ink: An

Андреев Н.Е.

Handwritten signature in blue ink: Васильяк

Васильяк Л.М.

21.03.2018г.

Handwritten signature in blue ink: Л.М.