

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 лаборатория № 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 инициированию 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 острейного 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., Landl N.V., Sun Y.H., Shao T., Gao Y. 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., Landl N.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 объёме 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 представлениям.

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

Андреев Н.Е.

ВРИО ученого секретаря диссертационного совета Д 002.110.02

д.ф.-м.н., профессор

Василяк Л.М.

