

Отзыв

официального оппонента - доктора технических наук, профессора Николая Николаевича Коваля на диссертационную работу Семенова Алексея Михайловича «Разработка и исследование элементов высоковакуумных систем ускорительных и плазменных установок», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.18 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Генерация, транспортировка и диагностика пучков заряженных частиц в ускорителях и интенсивных потоках плазмы, в современных мощных плазменных установках, в том числе и для управляемого термоядерного синтеза, невозможна без пользования вакуума, к получению и использованию которого применяются специальные специфические требования, учитывающие особенности каждой экспериментальной установки и параметры пучков и плазмы. Поэтому прогресс в вакуумной науке и технике во многом определяет успехи ускорительной и плазменной науки и технологий. С этой точки зрения диссертация Семенова Алексея Михайловича, посвященная исследованиям и разработкам таких важных аспектов вакуумной техники как: поиск и исследования новых материалов для использования в высоковакуумной технике, оригинальных большеразмерных соединительных элементов сверхвысоковакуумных систем, а также современных средств для сверхвысоковакуумной откачки для применения в ускорительной технике является безусловно актуальной, во многом определяющей прогресс в передовой ускорительной тематике в целом.

Диссертации Семенова А. М. включает введение, пять глав, заключение, 2 приложения и список литературы из 101 наименования. Полный объем работы составляет 214 страниц, включая 23 таблицы и 91 рисунок.

Во введении обозначена актуальность исследований, сформулированы цели и задачи работы, изложены сведения о научной новизне и практической значимости, приведены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе как на основе литературных данных, так и проведенных автором исследований, приведены сведения о новых, слабо изученных материалах, которые перспективны для применения как в исследовательских термоядерных установках (карбид бора), для снижения радиационного фона и защиты исследовательского диагностического оборудования от нейтронного облучения, так и карбида кремния, как материал для создания современных и перспективных вакуумных камер для ускорителей заряженных частиц. Впервые проведены длительные комплексные исследования карбидов кремния и бора при термическом обезгаживании, что весьма важно для обоснования их выбора как конструкционных материалов для перспективных электрофизических установок.

В этой же главе изучены вакуумные свойства сверхмолекулярного полиметилметакрилата (СВМ-ПММА) как перспективных материалов для изготовления вакуумных камер и высоковольтных изоляторов, работающих при

вакууме до 10^{-7} мм. рт. ст., а также измерено газовыделение высокоэффективного люминофора Р43 (оксисульфид гадолиния, легированный тербием), из которого изготавливаются большегабаритные (270×480 мм²) сцинтилляционные экраны для двумерного измерения профиля пучка.

Во второй главе рассмотрены новые конструкции большеразмерных (до проходного диаметра до 500 мм) вакуумных соединений с мягкими гальваническими покрытиями, разработаны конструкции с такими уплотнениями, покрытыми серебром, способные выдерживать нагрев до 450°C с целью обезгаживания для получения сверхвысокого вакуума.

Третья глава посвящена разработке и оптимизации магниторазрядных насосов с сильным (до 0,3 Тл) магнитным полем для ЦКП «СКИФ». Проведены как теоретические, так и экспериментальные исследования таких насосов и показана перспективность их применения в современных ускорителях заряженных частиц. Приведено описание разработанных насосов и их характеристик.

В четвертой главе рассмотрены новые конструкции и характеристики вакуумных насосов на основе нераспыляемых геттеров, которые обладают большой скоростью откачки активных газов (водород, кислород, азот и др.), но не способны откачивать инертные газы и метан. Поэтому было предложено создать комбинированный насос (магниторазрядный + геттерный), сочетающий положительные свойства двух типов насосов и пригодный для эффективного использования в современных ускорителях. Автором было предложено и исследовано новое геттерное вещество на основе Ta-Ti-Zr-V, обладающее улучшенными газопоглощающими и активационными свойствами.

В пятой главе приведено подробное описание инжекционной части ЦКП «СКИФ» разработанной и созданной при активном участии автора диссертации.

В заключении приведены основные результаты работы.

В приложении А1 приведён расчет проводимости в молекулярном режиме.

В приложении А2 приведён расчет эффективной быстроты откачки магниторазрядного насоса.

Текст диссертации хорошо структурирован, обладает внутренним единством, логично изложены все основные моменты исследований и полученные результаты.

Аннотация диссертации соответствует её содержанию и полностью отражает основные научные и прикладные результаты диссертационного исследования

Таким образом, изучение материалов диссертации Семенова А. М., позволяет заключить, что она представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, решающую важную проблему поиска и исследования новых вакуумных материалов, разработки и создания сверхвысоковакуумных средств откачки для использования в вакуумных системах современных установок мегасайенс, что улучшает их параметры и расширяет функциональные и эксплуатационные возможности, выводя на высокий мировой уровень.

К основным наиболее значимым результатам работы, определяющим ее научную новизну и практическую ценность сформулированных положений и выводов, можно отнести следующее:

- впервые измерены коэффициенты термического газовыделения из карбидов кремния и бора при нагреве до $(100-200)^{\circ}\text{C}$ и длительной непрерывной вакуумной откачке (от нескольких часов до нескольких месяцев), характерной для работы электрофизических установок, что позволило рекомендовать эти материалы как для создания вакуумных камер ускорителей, так и для снижения воздействия быстрых нейтронов на диагностическую аппаратуру в установках управляемого термоядерного синтеза (УТС);
- впервые измерены коэффициенты термического газовыделения от температуры прогрева и длительности обезгаживания для таких новых вакуумных материалов как сверхвысокомолекулярный полиметилметакрилат, аэрогель из аморфного диоксида кремния и люминофора Р43 из оксисульфида гадолиния, легированного тербием, что позволило использовать их в ускорительной технике в режимах, не ухудшающих вакуумные условия установок;
- были разработаны и протестированы разъемные вакуумные соединения с упругими С-образными уплотнениями для проходного диаметра до 500 мм, что на 150 мм больше, чем у стандартизированных соединений, что позволило использовать их в уникальных ускорительных комплексах NICA (г. Дубна, Россия) и FAIR (г. Дармштадт, Германия);
- на основе теоретических расчетов и серии экспериментов созданы новые оптимизированные конструкции магниторазрядных насосов с сильным (до 0,3 Тл) магнитным полем как диодного, так и триодного типа со скоростью откачки от 20 до 40 л/с, налажено их серийное производство для оснащения системы вакуумной откачки синхротрона ЦКП «СКИФ»;
- на основе изучения свойств нераспыляемых геттеров Ti-Zr-Al созданы и запущены в серийное производство на заводе АО «Катод» (г. Новосибирск) геттерные насосы со скоростью откачки 800 и 1300 л/с по водороду для оснащения системы вакуумной откачки синхротрона «СКИФ»;
- предложен, создан и запущен в серийное производство комбинированный вакуумный насос на основе магниторазрядной и геттерной части со скоростью откачки до 1300 л/с по водороду и 20 л/с по аргону, что позволило оснастить им инжектор синхротрона ЦКП «СКИФ», обеспечив достижение проектных параметров пучка на линейном ускорителе на энергию 200 МэВ и бустере;
- продемонстрирована возможность вакуумной откачки узкоапертурных камер (ондуляторов и виглеров) ЦКП «СКИФ» путем нанесения нераспыляемых геттеров сплава «тантал-титан» на внутреннюю поверхность этих встроенных устройств, что обеспечивает их устойчивую работу.

Новизна и актуальность исследований подтверждаются наличием публикаций в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ (15 статей), а также

участием в многочисленных (около 20) профильных научных мероприятиях. Необходимо отметить достаточно большое (более 30) общее число публикаций по теме диссертационного исследования.

Научные выводы, выносимые на защиту, а также рекомендации по их практическому использованию, основаны на большом объеме фактического материала, полученного в тщательно выполненных экспериментах и подтвержденных расчетами. Следует отметить, что диссертант использовал теоретические оценки и расчеты при разработке и конструировании предложенных им схем магнитоэлектрических и геттерных насосов, что безусловно можно поставить ему в заслугу. При проведении многочисленных экспериментов по термическому газовыделению новых вакуумных материалов использовались разработанные им экспериментальные стенды с хорошо зарекомендовавшими себя традиционными измерительными приборами (вакуумметрами, газоанализаторами и т.д.) поэтому приводимые результаты и выводы представляются обоснованными и достоверными, а также подтверждаются соответствием экспериментальных данных теоретическим представлениям и расчетам.

Особо, на мой взгляд, следует отметить практическую направленность данной диссертационной работы, выражающейся в том, что автор не только провел экспериментальные исследования на лабораторных стендах, но и внедрил свои разработки в виде магнитоэлектрических и геттерных насосов в серийное производство, а также оснастил ими вакуумную систему инжекционной части синхротрона 4⁺ поколения центра коллективного пользования «СКИФ», что безусловно является огромным плюсом данной работы и доказывает её востребованность.

Следует отметить некоторые вопросы и замечания по работе:

1. По какой причине в системе вакуумной откачки инжекционной части синхротрона «СКИФ» используются триодные, а в накопительном кольце диодные магнитоэлектрические насосы?
2. На стр. 90 написано: «во-вторых источником электронов, необходимых для ионизации остаточного газа, является ячейка Пеннинга». Непонятно: как ячейка Пеннинга, в которой горит разряд, является источником только электронов?
3. На рис. 3.3 стр. 95 нет значений времени по шкале абсцисс.
4. На стр. 98 диссертации сказано: «У современных триодных насосов быстрота действия по азоту составляет 40-50% от быстроты действия по азоту». Это, вероятно, опечатка и под альтернативным газом подразумевается аргон.
5. Автор в тексте диссертации использует различные единицы измерения вакуума – мбар и Торр, обе из которых встречаются даже на одной странице (например, стр. 42), что затрудняет прямое сравнение оценок вакуума.

Указанные замечания и появившиеся вопросы не снижают общей положительной оценки работы и не подвергают сомнению достоверность,

обоснованность и новизну полученных и представленных в диссертации результатов.

Совокупность представленных в диссертации результатов решает актуальную научно-техническую задачу- поиск новых органических и неорганических материалов для создания установок класса мегасайенс с характеристиками по газовыделению удовлетворяющими получение высокого и сверхвысокого вакуума, а также разработки и создания эффективных средств сверхвысоковакуумной откачки таких установок.

Разработанные в ходе исследований методики и оборудование востребованы коллективами, работающими в области создания мощных плазменных и ускорительных комплексов, а также находят применения в научных и технологических целях.

Таким образом, диссертация Семенова Алексея Михайловича на тему «Разработка и исследование элементов высоковакуумных систем ускорительных и плазменных установок» является законченным научным исследованием и по своей актуальности, степени научной новизны и практической значимости результатов в полном объеме соответствует требованиям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (в действующей редакции) к докторским диссертациям, а её автор Семенов Алексей Михайлович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 1.3.18 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Я, Коваль Николай Николаевич, согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник лаборатории плазменной эмиссионной электроники Института сильноточной электроники СО РАН (ИСЭ СО РАН), доктор технических наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника, профессор по кафедре физики плазмы

« 23 » сентября 2026 г.



Николай Николаевич Коваль

Юридический адрес: 634050, Россия, г. Томск, проспект Академический, дом 2/3

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)

Телефон: +7(3822) 492792; Электронная почта: nn.koval@hcei.ru

Подпись Ковалья Николая Николаевича удостоверяю:

Ученый секретарь ИСЭ СО РАН



Крысина О.В.