

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Левичева Алексея Евгеньевича «Разработка и экспериментальная проверка концепции линейного ускорителя электронов – инжектора источника синхротронного излучения четвертого поколения ЦКП «СКИФ»» по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертационная работа Левичева А.Е. посвящена разработке и экспериментальной проверке концепции линейного ускорителя электронов в качестве инжектора источника синхротронного излучения четвертого поколения «СКИФ». Учитывая важность источников синхротронного излучения, обеспечивающих высокую яркость и малый эмиттанс пучка, для широкого круга научных и практических задач, можно с полным основанием утверждать, что работа является **важной, значимой и актуальной**.

В рамках работы были выполнены многочисленные воспроизводимые и адекватно поставленные эксперименты, а результаты численных оценок и теоретических расчетов находятся в удовлетворительном согласии с экспериментом, поэтому научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, обладают высокой **степенью обоснованности**.

**Достоверность** результатов работы обусловлена их публикацией в профильных рецензируемых научных журналах, а также представлением и обсуждением результатов работы на научных конференциях и семинарах по тематике работы.

Учитывая тот факт, что подобная масштабная и современная установка с уникальными параметрами создается в России впервые, то представленная диссертационная работа обладает безусловной **научной новизной**.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы, изложенных на 203 страницах.

Во Введении обосновывается актуальность темы исследования, приводится критический анализ существующих аналогичных систем, формулируется цель и задачи, обосновывается новизна, теоретическая и практическая значимость исследования. Автор в обобщенном виде излагает методологию и методы исследования, результаты, выносимые на защиту, и формулирует личный вклад в работу.

В Первой главе рассмотрена общая схема ускорителя «СКИФ», изложены требования к основным компонентам и проектные параметры линейного ускорителя инжектора. Выбрана и обоснована конкретная конфигурация линейного ускорителя инжектора «СКИФ», состоящая из источника электронов (ВЧ пушки), канала группировки и предускорения пучка, пяти регулярных ускоряющих структур, и трех клистронов.

Вторая глава посвящена моделированию и оптимизации параметров электронного пучка в линейном ускорителе. Приводятся аналитические

исследования захвата в режим ускорения, на основе расчетов делаются выводы о требуемой конфигурации ускорительной системы. Выполнено численное моделирование конфигурации и параметров элементов ВЧ пушки, а также динамики частиц в линейном ускорителе, а по результатам моделирования динамики, была смоделирована конфигурация магнитной системы для удержания и формирования пучка. По результатам главы разработаны модели ключевых элементов линейного ускорителя инжектора «СКИФ», и тем самым заложен базис их успешного воплощения на практике.

В Третьей главе рассмотрены требования на изготовление ускоряющих структур, оценивается влияние ошибок в ускоряющих ячейках на рабочий вид колебаний в структуре, ошибок набега фазы и неточности частоты генератора на набор энергии, делается вывод о важности некоррелированного распределения ошибок.

Четвертая глава содержит информацию по изготовлению, отладке и оценке фактически достигнутых параметров и характеристик элементов ускорителя: ВЧ пушки и резонатора канала группировки, магнитной системы ускорителя, ускоряющей структуры и других элементов. Делается заключение о том, что все изготовленные части ускорителя пригодны для эксплуатации и будут обеспечивать требуемые параметры его работы.

Пятая глава всецело посвящена расчету, разработке, изготовлению и отладке мощного отечественного клистрона как источника ВЧ мощности линейного ускорителя.

В Шестой главе изложены результаты работы над испытательно-диагностическим стендом ЛИНАК-20, предназначенном для отработки процессов формирования и ускорения пучка перед воплощением этих процессов на готовом участке ЦКП «СКИФ».

В Заключении приведены основные результаты работы.

К важнейшим научно-практическим результатам работы можно отнести:

1. Разработку и практическое воплощение схемы линейного ускорителя инжектора источника синхротронного излучения на основе ВЧ пушки с одним предускорителем–группирователем, работающим в режиме бегущей волны без изменения ее фазовой скорости.

2. Создание отечественного клистрона с выходной импульсной СВЧ мощностью 50 МВт при рабочей частоте 2856 МГц.

3. Создание испытательного стенда «ЛИНАК-20», формирование сопутствующих технологических процессов, возрождение и приобретение компетенций и опыта по созданию мощных электронных пушек, ускоряющих структур, резонаторов группировки пучка, регулярных ускоряющих структур и структур предускорения, которые могут быть востребованы при реализации подобных масштабных отечественных проектов.

Результаты научной работы обнародовались на профильных научных мероприятиях (конференциях, семинарах и рабочих совещаниях), и были

опубликованы в 12 статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией при Минобрнауки России.

Результаты работы имеют практическую значимость и могут быть использованы в работе в научно-исследовательских центрах.

Как и любая серьезная и масштабная научная работа, диссертация имеет следующие недостатки.

1. К сожалению, результаты диссертационной работы представлены в основном в отечественных русскоязычных и переводных журналах. Маловато публикаций в зарубежных высокорейтинговых профильных научных журналах, посвященных физике и технике ускорителей, физике плазмы и заряженных частиц. Все-таки смысл и ценность научных открытий повышаются при доведении их до сведения максимально широкого круга специалистов по всему земному шару.

2. «Положения, выносимые на защиту» сформулированы небрежно. Хотелось бы, чтобы из текста каждого положения (без отсылки в сторонние разделы диссертации или в публикации соискателя по теме диссертации) было понятно, в чем именно заключаются конкретные научные или научно-технические результаты, благодаря каким именно конструктивным решениям и физическим процессам эти результаты стали возможны, при каких именно численных значениях и в каких условиях эксперимента они достижимы или уже достигнуты, и т.д.

3. Автор пишет, что «паркетный» паттерн сетки является сложным и трудоемким как для моделирования, так и изготовления. Однако, далее, видно, что именно такой «паркетный» паттерн все же и был выбран. Неясно, каким именно преимуществом был обусловлен этот выбор, невзирая на упомянутые сложности.

4. Небрежно оформлены рисунки. В ряде рисунков (1.6, 2.11, 2.14, 5.15, 5.28, 5.29, 6.25) качество (размер и читаемость символов) не позволяет оценить численное значение и размерность изображаемой физической величины. Особенно этим грешат рисунки с цветовой картой. На рис. 1.9 неясно, какая именно физическая величина закодирована картой цветов, на рис. 1.17 – приведена только одна часть рисунка, хотя из подрисуночной подписи следует, что должна быть и вторая.

5. Текст глав 4 и 5 изобилует фотографиями элементов экспериментальных установок, приборов, и прочего, с довольно скудной информацией относительно того, какие именно конструктивные решения или особенности автор хотел продемонстрировать на этих фотографиях.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. Изложенные в ней научные результаты в совокупности представляют собой фундаментальное и социально-экономическое значение.

Список литературы, рассмотренной в процессе работы над диссертацией, содержит солидное количество современных и актуальных литературных источников по тематике диссертации.

Учитывая большой объем и масштабность проделанной работы, наличие уже достигнутых соискателем экспериментальных научно-практических результатов, и достаточное освещение результатов работы в рецензируемых научных журналах, можно заключить, что научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные соискателем степени в диссертации, в достаточной мере обоснованы.

Считаю, что рецензируемая диссертационная работа «Разработка и экспериментальная проверка концепции линейного ускорителя электронов – инжектора источника синхротронного излучения четвертого поколения ЦКП «СКИФ» соответствует всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а Левичев Алексей Евгеньевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Я, Золотухин Денис Борисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Левичева Алексея Евгеньевича (соискателя), и их дальнейшую обработку.

Ведущий научный сотрудник лаборатории пучково-плазменной модификации диэлектриков (кафедры физики) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР), доцент, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника

Золотухин Денис Борисович

«16» мая 2025 г.

Золотухин Денис Борисович,  
634050 Томск, проспект Ленина, д. 40  
Тел.: +7-3822-41-33-69  
E-mail: [denis.b.zolotukhin@tusur.ru](mailto:denis.b.zolotukhin@tusur.ru)

Подпись Золотухина Д.Б. заверяю:

Прокопчук Елена Викторовна

учёный секретарь ФГАОУ ВО «ТУСУР»

