

Отзыв

официального оппонента, кандидата технических наук Ю.Ж. Калинина

на диссертационную работу СЕМЕНОВА Алексея Михайловича

**“РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И ЗАПУСК ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ
БУСТЕРА-СИНХРОТРОНА ДЛЯ ИСТОЧНИКА СИНХРОТРОННОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ NSLS-II ”,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

Актуальность темы диссертационной работы. Первые предположения о существовании синхротронного излучения (СИ) были предложены еще в XIX веке А.-М. Лиенаром, но впервые экспериментально излучение было обнаружено только в середине прошлого века на синхротроне фирмы «Дженерал Электрик». В последнее время СИ является неотъемлемым ценным инструментом специалистов разных профессий (от физиков и химиков, до геологов, археологов, биологов и т.д.).

Первыми прототипами источников синхротронного излучения были ускорители заряженных частиц, предназначенные для физики высоких энергий. В таких источниках это излучение являлось паразитным и создавалось в поворотных магнитах ускорителей, но именно на этом излучении из поворотных магнитов были проведены первые опыты по прикладному использованию СИ. Сейчас в большинстве своем строятся источники СИ третьего поколения, одной из важнейших систем которых является вакуумная система. Следовательно, разработка и введение в эксплуатацию вакуумной системы бустера NSLS-II, с рекордным током 20 МА, является актуальной темой.

Содержательная часть работы состоит из:

введения, где определена цель диссертационной работы, обоснована ее актуальность и сформулированы основные положения, выносимые на защиту;

главы 1, в которой изложены требования к уровню вакуума, представлено распределение давлений для бустера, а также рассмотрен вариант возможности применения не распыляемых геттеров (НЕГ) в качестве распределенных насосов. Это рассмотрение является важным, так как появляется тенденция применения НЕГ в узкоапертурных протяженных вакуумных камерах современных источников СИ. Например, в 3 ГэВ кольце (периметр ≈ 520 м) MAX IV (Швеция) основная откачка осуществляется НЕГ, напыленным на внутреннюю стенку вакуумной камеры. На

расстоянии 25-30 метров устанавливаются магнитоэлектрические насосы для откачки углеводородов и инертных газов, которые НЕГ не откачиваются. Поэтому же пути идет модернизация APS (США) с периметром порядка 1000 м. Предлагаемая в работе откачка сосредоточенными магнитоэлектрическими насосами значительно упрощает и удешевляет конструкцию вакуумной системы при сохранении или даже повышении ее надежности.

главы 2, посвященной описанию вакуумной системы бустера, экспериментальным данным, полученным автором для определения теплового режима дипольных камер в присутствии синхротронного излучения.

главы 3, в которой описана методика вакуумных испытаний. Процедура контроля качества, представленная в этой главе, является важной составляющей работы.

главы 4, в которой показана автоматизация вакуумной системы.

главы 5, в которой рассмотрены результаты запуска вакуумной системы в фоновом режиме и при синхротронном излучении.

заклучения с изложением основных выводов и результатов работы

К **научной новизне**, несомненно, стоит отнести тот факт, что, несмотря на рекордный накопленный ток 20 мА и энергии пучка 3 ГэВ, экспериментальные данные позволили установить, что при данной мощности СИ, приводящей к неравномерному нагреву, нет необходимости как в дополнительном охлаждении вакуумных камер, так и в сосредоточенных приемниках излучения. Это так же приводит к упрощению конструкции вакуумной системы.

Практическая ценность работы связана с полученными автором экспериментальными данными зависимости теплового режима нагрева вакуумной камеры от мощности синхротронного излучения без какого-либо дополнительного охлаждения, кроме естественного, что является важным при конструировании новых, более сильноточных установок.

Все научные результаты и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, **обоснованы и достоверны**, что подтверждается успешной работой вакуумной системы бустера с 2013 года, и были представлены на различных международных конференциях по вакуумной технике и ускорителям заряженных частиц и в нескольких печатных работах.

В представленной работе имеются некоторые недостатки, к которым можно отнести:

1. В главе 1.2 (стр.15) написано: «Спектр остаточных газов в непрогретых вакуумных камерах имеет характерный состав: водород -80-90%, CO -20-10%, остальные элементы <3-5% (после длительного воздействия ионизирующего излучения)». К сожалению, не уточняется время «длительного воздействия» и вид излучения. Приведенный спектр остаточных газов характерен для прогретых, причем «на месте», вакуумных систем. В непрогретых вакуумных камерах всегда присутствуют пары воды в количестве до 20%. Удалить воду можно только прогревом всей вакуумной системы, исключив любые «холодные» участки, в том числе вакуумные датчики, насосы и т. д, при температуре более 100 С. При любом вскрытии вакуумной системы на «атмосферу» появление воды в спектре неизбежно. Конечно, синхротронное излучение будет нагревать вакуумную камеру. Автор в гл. 2.2.1 приводит температуру нагрева до 85 С, но остается вопрос, связанный с неравномерностью прогрева всей вакуумной системы и временем облучения. Во всех последующих расчетах пары воды автором не учитываются.
2. Глава 3. При описании установки для прогрева и измерения коэффициента термического газовыделения не указаны геометрические размеры «вакуумного объема», испытываемых камер; длины сильфонов и патрубков до мест расположения датчиков, которыми измеряется перепад давлений при измерениях. Поэтому нельзя (из текста) посчитать площади поверхностей (следовательно, и потоки теплового газовыделения с них) и проводимости тех участков вакуумной системы, которые непосредственно составляют установку для измерения коэффициента термического газовыделения. Так же нет данных о скорости действия турбомолекулярного насоса и величинах предельного и рабочего вакуума в различных местах установки, с помощью которых и вычисляется коэффициент термического газовыделения. Это затрудняет понимание правильности применяемой методики.
3. Не приведены спектры остаточных газов в установке во время проведения измерений. В формулу для расчета входит произведение разности давлений и проводимости в азотном эквиваленте, если основной остаточный газ водород, то значение коэффициента термического газовыделения будет существенно больше (сечение ионизации водорода 0.43 от азота, проводимость в 3.7 раза больше). К приведенным значениям коэффициента термического газовыделения желательно было бы определить величину ошибки измерений.

4. Представляемая работа была бы намного полнее, если бы автор привел спектры остаточных газов в работающем бустере-синхротроне в зависимости от накопленной дозы синхротронного излучения.

Конечно, данные замечания не снижают положительной оценки работы. Диссертация написана грамотным научным языком, последовательность изложения материала выглядит вполне логичным. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Диссертация посвящена решению актуальной задачи, имеющую научную и практическую значимость при проектировании вакуумных систем, как источников синхротронного излучения, так и для ускорителей заряженных частиц.

В диссертации содержится решение задачи разработки вакуумной системы бустера NSLS-II, имеющий существенное значение для развития вакуумной техники, что соответствует п.9 «Положения о присуждении ученых степеней».

Считаю, что диссертация соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к диссертационным работам, представляемым на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор – Семенов Алексей Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Официальный оппонент

кандидат технических наук, заведующий лабораторией
ФГБУН ИЯИ РАН, г. Москва
142190, Россия, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 27
e-mail: kalinin@inr.ru. Тел:8-495-851-09-64

Калинин Юрий Жоржевич

Подпись официального оппонента заверяю

Зам. Директора ФГБУН ИЯИ РАН

Д.Ф.-М. Н



Фещенко А.В.

Институт ядерных исследования РАН

3.12.2015 г.