

УТВЕРЖДАЮ



В.Д. Кекелидзе

» 02 2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-технического совета
Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина
Объединенного института ядерных исследований

Диссертация «**Комплекс аппаратно-программных средств управления и диагностики для ускорителя электронов Линак-200 и прототипа фотоинжектора ОИЯИ**» выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина.

В период подготовки диссертации **Ноздрин Михаил Александрович** работал в Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина в должности инженера и, начиная с 2010 года, в должности старшего инженера Научно-экспериментального отдела ускорительных систем, а с 2014 года — в должности старшего инженера Научно-экспериментального отдела инжекции и кольца Нуклotrona.

В 2006 году М.А. Ноздрин окончил Московский институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет) по специальности «электроника и автоматика физических установок».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2018 году.

Научные руководители — доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН Г.Д. Ширков, помощник директора Объединенного института ядерных исследований по ядерно-физической медицине, и кандидат технических наук В.Ф. Минашкин, начальник сектора №2 Научно-экспериментального отдела ускорительных систем Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

В диссертации представлены результаты разработки и создания программно-аппаратного обеспечения систем управления и диагностики ускорителя Линак-200 и прототипа фотоинжектора ОИЯИ. Работы проводились в рамках тем 02-0-1067-2007/2015 и 02-0-1127-2016/2018 Проблемно-тематического плана ОИЯИ.

Актуальность задачи:

Обсуждаемые сегодня проекты крупных ускорительных комплексов будущего потребуют не только новых принципов ускорения, детектирования и обработки данных, но и поиска новых инженерных и конструкторских решений. Работа в этих направлениях совместно ведется в различных странах в рамках международного сотрудничества, имеет

значительный прикладной технологический эффект, стимулирует развитие технологий и коммуникаций, а также, в силу масштабности проектов, способствует повышению уровня технического образования в стране.

В ОИЯИ работа в этой области ведется в рамках проекта «Проектирование, изготовление и испытания прототипов элементов ускорителей и коллайдеров нового поколения для фундаментальных и прикладных целей», включающего в себя три направления: тестовый стенд с электронным пучком на основе линейного ускорителя Линак-200 с энергией до 200 МэВ; создание прототипа DC-фотоинжектора с энергией до 400 кэВ; создание на базе стенда линейного ускорителя комплекса лабораторных и практических работ. Важными элементами вышеперечисленных установок являются системы управления и диагностики, которым и посвящена диссертация М.А. Ноздрина.

Новизна и практическая значимость работы:

Автором диссертации разработана концепция минимального и достаточного набора подсистем управления для запуска линейного ускорителя электронов Линак-200 взамен устаревших либо избыточно сложных аналогов ускорителя МЕА, создано недостающее оборудование для этих подсистем и оригинальное программное обеспечение.

Созданная система управления ускорителя Линак-200 позволила обеспечить:

- физический пуск ускорителя Линак-200: запущены все ускорительные станции, импульсный ток пучка на выходе ускорителя составил 1,5 мА, энергия электронов на выходе составляет 200 МэВ, что соответствует проектному значению; ток на пользовательском выводе пучка (энергия 22 МэВ) составил 15 мА в импульсе;
- получение генерируемого пучком электронов инфракрасного излучения на ондуляторе (длина волны 13,7 мкм, мощность 30 мВт);
- бесперебойную работу ускорителя, в частности, работу на экспериментальное исследование кристаллических сцинтилляторов для новых детекторов частиц на выведенном электронном пучке предельно низкой интенсивности; исследование радиационной стойкости полупроводниковых материалов для создания калориметра малых углов для будущих электрон-позитронных коллайдеров в рамках международной коллаборации FCAL.

При непосредственном участии автора разработан, создан и используется стенд для исследования термо- и фотокатодов, на котором в настоящий момент проводятся поисковые исследования по одной из основных задач в области фотокатодных разработок — созданию фотокатода, не требующего для работы сверхвысокого вакуума, но при этом обладающего приемлемыми квантовым выходом (10^{-3} и выше) и временем жизни (не менее года). Фотокатодная сборка с предложенным в ОИЯИ «прозрачным» фотокатодом интегрирована в ускоряющую структуру фотоинжектора, осуществлен физический пуск прототипа фотоинжектора.

Созданный стенд фотопушки позволил проводить исследовательские работы по развитию и оптимизации DC-фотоинжектора с энергией электронов в пучке до 30 кэВ на базе предложенного «прозрачного» для лазерного луча фотокатода; по разработке и совершенствованию фотокатодов с целью увеличения квантового выхода, времени жизни и снижения требования к вакуумным условиям. Создаваемый полномасштабный стенд фотоинжектора позволит проводить эти исследования с новым лазерным драйвером и пучком электронов с энергией до 400 кэВ.

Системы диагностики электронного пучка на ускорителе Линак-200 и стенде фотопушки предоставили возможность регистрации профиля, размеров и распределения интенсивности пучка электронов (а на стенде фотопушки — и лазерного луча).

Научно-технический совет ЛФВЭ отмечает следующие, наиболее важные, работы по данной диссертации, в выполнение которых М.А. Ноздрин внёс определяющий вклад:

Разработка программного обеспечения для систем управления электронной пушкой, радиационного контроля и контроллера системы термостабилизации ускорителя Линак-200, платы контроллера электронной пушки (электроника и программное обеспечение микроконтроллера платы), систем видеодиагностики для Линак-200 и стенда фотопушки, и системы измерения эмиттанса для стенда фотопушки.

Актуальность, новизна и достоверность полученных результатов и выводов не вызывают сомнений. Описанные в диссертации системы прошли успешную апробацию во время физических пусков ускорителя Линак-200 и прототипа фотоинжектора, и во время их дальнейшей работы. Поставленные перед соискателем задачи успешно выполнены. Основные результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в 17 печатных работах (7 из них в рецензируемых журналах из списка ВАК), а также докладывались автором на российских и международных конференциях, семинарах, школах и совещаниях.

Основные результаты диссертационной работы докладывались автором:

на следующих российских и международных семинарах и конференциях:

1. 10-й европейский семинар по диагностике пучка и оборудованию для ускорителей частиц (DIPAC2011), 2011 (Гамбург, Германия).
2. Научный семинар в ЛФВЭ ОИЯИ (отчетный доклад лауреата стипендии им. В.И. Векслера).
3. XXII и XXIII всероссийские конференции по ускорителям заряженных частиц (RuPAC), 2010 (Протвино, Россия) и 2012 (Петергоф, Россия).
4. 33-я и 37-я сессии Программно-консультативного комитета по физике заряженных частиц ОИЯИ, 2010–2012 (Дубна, Россия).
5. XV и XVIII научные конференции молодых ученых и специалистов (ОМУС), 2011–2014 (Дубна, Россия).
6. I, II и III школы-конференции молодых ученых и специалистов (ОМУС Алушта), 2012–2014 (Алушта, Крым).
7. Международная конференция по вакуумным электронным источникам (IVESC), 2014 (Санкт-Петербург, Россия).
8. VIII, IX и XI международные семинары по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти В.П. Саранцева, 2009–2015 (Алушта, Крым).
9. 19-я и 20-я международные летние школы по вакуумным, электронным и ионным технологиям (VEIT), 2015–2017 (Созополь, Болгария).
10. Совещания коллaborации PITZ (PhotoInjector Test facility in Zeuthen), 2015–2016 (Цойтен, Германия).
11. 9-й и 10-й международные семинары по персональным компьютерам и управлению ускорителями заряженных частиц (PCaPAC), 2014 (Калькутта, Индия) и 2016 (Кампинас, Бразилия).
12. Научная сессия ОФН РАН «Современные проблемы фотоинжекторов электронных пучков с предельной яркостью», 2017 (Москва, Россия).

Содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. *Balalykin N. I., ..., Nozdrin M. A., ... [et al.] Researching the Characteristics of Photo- and Thermoemission Cathodes // Physics of Particles and Nuclei Letters.* — 2008. — Vol. 5, no. 7. — Pp. 605–608.
2. *Nozdrin M. A. [et al.] Hollow Photocathode Concept for e-Gun // Proceedings of the XXII Russian Particle Accelerator Conference (RuPAC2010, Protvino, Russia, Sept. 27–Oct. 1, 2010) / ed. by M. Kuzin, V. R. Schaa.* — 2010. — Pp. 59–61.
3. *Balalykin N. I., ..., Nozdrin M. A., ... [et al.] Control System of Injector for Linear Electron Accelerator LINAC-800 // Physics of Particles and Nuclei Letters.* — 2010. — Vol. 7, no. 7. — Pp. 525–528.
4. *Ноздрин М.А. [и др.] Система радиационного контроля линейного ускорителя электронов ЛИНАК-800 // Труды XV-ой научной конференции молодых учёных и специалистов ОИЯИ (ОМУС2011, Дубна, Россия, 14–19 февр. 2011)* — 2011. — С. 131–134.
5. *Nozdrin M. A. [et al.] Hollow Photocathode Prototype for e-Gun // Proceedings of the 10th European Workshop on Beam Diagnostics and Instrumentation for Particle Accelerators (DIPAC2011, Hamburg, Germany, May 16–18, 2011)* — 2011. — Pp. 242–244.
6. *Nozdrin M. A. [et al.] Development of the new control systems for JINR e-Linac Accelerator Test Bench // Proceedings of the XXIII Russian Particle Accelerator Conference (RUPAC2012, Saint-Petersburg, Russia, Sept. 24–28, 2012)* — 2012. — Pp. 626–628.
7. *Huran J., ..., Nozdrin M. A., ... [et al.] Photocathode based on deuterated diamond like carbon films prepared by reactive magnetron sputtering and PECVD technology // Proceedings of the Ninth International Conference on Advanced Semiconductor Devices & Microsystems (ASDAM2012, Smolenice, Slovakia, Nov. 11–15, 2012).* — 2012. — Pp. 263–266.
8. *Balalykin N. I., ..., Nozdrin M. A., ... [et al.] On Radiation Protection at the LINAC-800 Linear Electron Accelerator // Physics of Particles and Nuclei Letters.* — 2012. — Vol. 9, no. 4–5. — Pp. 452–455.
9. *Nozdrin M. A. [et al.] Progress of the JINR e-Linac Accelerator Test-bench Control Systems // Proceedings of the 9th International Workshop on Personal Computers and Particle Accelerator Controls (PCaPAC2012, Kolkata, India, Dec. 4–7, 2012)* — 2012. — Pp. 203–205.
10. *Balalykin N., ..., Nozdrin M., ... [et al.] JINR Powerful Laser Driver Applied for FEL Photoinjector // Proceedings of the 5th International Particle Accelerator Conference (IPAC2014, Dresden, Germany, June 15–20, 2014)* — 2014. — Pp. 2906–2908.
11. *Balalykin N. I., ..., Nozdrin M. A., ... [et al.] Detailed investigation of the DLC films in the transmissive photocathode DC gun application // Emission Electronics (ICEE), 2014 2nd International Conference on (ICEE2014, Saint-Petersburg, Russia, June 30–July 4, 2014).* — 2014. — Pp. 1–5. — DOI: 10.1109/Emission.2014.6893973.
12. *Gacheva E. I., ..., Nozdrin M. A., ... [et al.] Laser Driver for a Photoinjector of an Electron Linear Accelerator // IEEE Journal of Quantum Electronics.* — 2014. — July. — Vol. 50, no. 7. — Pp. 522–529.
13. *Ноздрин М.А. [и др.] Диагностика на стенде фотопушки ЛФВЭ ОИЯИ.* — 2016. — Сообщения ОИЯИ: Р9-2016-6.
14. *Nozdrin M. A. [et al.] Diagnostics at JINR LHEP Photogun Bench // Proceedings of the 11th International Workshop on Personal Computers and Particle Accelerator Controls (PCaPAC2016, Campinas, Brazil, Oct. 25–28, 2016)* — 2016. | Pp. 117–119.
15. *Balalykin N. I., ..., Nozdrin M. A., ... [et al.] Transmission photocathodes based on stainless steel mesh and quartz glass coated with N doped DLC thin films prepared by*

- reactive magnetron sputtering // Journal of Physics: Conference Series. — 2016. — Vol. 700, no. 1. — P. 012050.
16. Balalykin N. I., ..., Nozdrin M. A., ... [et al.] JINR LHEP Photoinjector Prototype // Physics of Particles and Nuclei Letters. — 2016. — Vol. 13, no. 7. — Pp. 897–900.
17. Балалыкин Н.И., ..., Ноздрин М.А., ... [и др.] Электронная пушка с прозрачным фотокатодом для фототинжектора Объединённого института ядерных исследований // Успехи физических наук. — 2017. Т. 187, № 10. — С. 1134–1141.

Диссертация Ноздрина М.А. на соискание ученой степени кандидата наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития физики и техники ускорителей заряженных частиц. Работы по разработке комплекса аппаратно-программных средств управления и диагностики для ускорителя электронов Линак-200 и прототипа фототинжектора ОИЯИ базируются на согласовании физических процессов, происходящих с пучком, с функционированием технологических систем ускорительных установок. Диссертация М.А. Ноздрина соответствует специальности 01.04.20 — физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. НТС ЛФВЭ ОИЯИ рекомендует диссертацию к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.20 — физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Заключение принято Научно-техническим советом Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина Объединенного института ядерных исследований. Проголосовало 38 членов НТС ЛФВЭ из полного состава численностью 40 человек. Результаты голосования: «за» — 38 чел., «против» — нет, «воздержалось» — нет, протокол № 2 от 09 февраля 2018 года.

Заключение составил
зам. начальника отделения по научной работе
кандидат физ.-мат. наук

 А.О. Сидорин

Председатель НТС ЛФВЭ
доктор физ.-мат. наук

 Ю.А. Панебратцев

Ученый секретарь НТС ЛФВЭ
кандидат физ.-мат. наук

 С.П. Мерц