

**Отзыв официального оппонента д.ф.-м.н., ведущего научного  
сотрудника НИЦ “Курчатовский институт” – ИФВЭ  
Харлова Юрия Витальевича  
на диссертацию Усенко Евгения Анатольевича  
“Разработка аналоговой электроники считывания  
многоканальных физических детекторов”,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики**

## **Актуальность работы**

Современная экспериментальная физика высоких энергий развивается в направлении создания экспериментальных установок, характеризующихся большими размерами при плотной установке детекторов, высокой скоростью приема данных, обладают высокой гранулярностью с очень большим количеством каналов регистрации сигналов. Также важной является тенденция в современной физике высоких энергий к проведению прецизионных измерений, что требует и считывающей электроники с высоким разрешением как по амплитуде сигнала, так и по времени. Рассмотренная диссертация “Разработка аналоговой электроники считывания многоканальных физических детекторов” обобщает опыт проектирования экспериментов, проводит анализ требований к детекторам и представляет результаты разработки электроники считывания сигналов, обладающей низким порогом регистрации, малым шумом и реализованной в виде специализированной интегральной схемы. Таким образом, тема диссертации находится на переднем фронте создания крупномасштабных экспериментальных установок на современных ускорительных комплексах, что подтверждает актуальность и востребованность проведенной работы.

## **Степень обоснованности научных положений диссертации**

В первой главе диссертации приведен подробный обзор принципов построения многоканальных схем электроники времяпролетных детекторов экспериментальных установок STAR, FOPI, NADES. Автор провел анализ параметров этих детекторов, условий регистрируемых сигналов, элементной базы, на основе которой были произведены электронные модули. Обоснована необходимость исполнения надетекторной электроники, введение дополнительных функций, как TOT-преобразование и время-амплитудной коррекции. Показано, что оптимальным решением такого исполнения является реализация электроники в виде специализированных интегральных схем.

Вторая глава посвящена разработке аналоговой электроники считывания триг-

герных детекторов экспериментов ATLAS и ОКА. Здесь автор, основываясь на условиях работы данных экспериментов и на режимах работы детекторов, обосновывает требования к усилителям-дискриминаторам для РПС камер. В диссертации приведен полный цикл разработки схемотехники аналоговой электроники от принципиальных схем, их моделирования в САПР PSPICE и до реализации спроектированной электроники в виде действующих модулей, установленных в упомянутых экспериментах. В этой главе приведены измеренные характеристики электроники, разработанной на базе дискретных компонентов и промышленных интегральных схем.

Аналогичные разработки электроники для времяпролетных детекторов экспериментов ALICE, HARP, HADES описаны в главе 3. Как и в предыдущей главе, автор продемонстрировал полный цикл разработки, провел оптимизацию электроники с целью достижения максимально возможного временного разрешения и минимального джиттера усиленного сигнала, максимального усиления, минимизации шумов. Особое внимание уделено мощности тепловыделения электроники, что важно для детекторов с высокой плотностью монтажа и большим количеством каналов регистрации. Для эксперимента ALICE автором была разработана схема 8-канального усилителя-дискриминатора, реализованной в виде специализированной интегральной схемы NINO. В этой же главе диссертации подробно описана электроника считывания переднего сцинтилляционного годоскопа эксперимента HADES, основанной на использовании модифицированного ГОТ-метода, разработанного автором.

Модернизация преобразователя заряда (амплитуды сигнала) во временной интервал с целью снижения энергопотребления для многоканальных систем считывания детекторов описана в главе 4.

Обоснованность научных положений, приведенных в диссертации, подтверждается применением принятых методов построения детекторов в экспериментальной физике высоких энергий, систематическим подходом автора к осмыслению опыта предыдущих экспериментов и анализа требований условий работы тех экспериментов, где автор принимал непосредственное участие. Разработанные модули и схемы электроники были реализованы и установлены в реальных экспериментах, таким образом подтвердив правильность решений, предложенных автором диссертации.

## **Достоверность, новизна и значимость полученных результатов**

Все решения реализации методов регистрации сигналов с высоким временным разрешением и низким уровнем шума, применяющие преобразование амплитуды сигнала в интервал времени, были разработаны автором и нашли воплощение в действующих экспериментах ATLAS, ALICE, HADES, FOPI, HARP, ОКА. Можно с уверенностью считать, что полученные автором результаты были уникальными разработками и явились существенным вкладом в методику построения современных экспериментов. Важным и неоспоримым свидетельством значимости полученных результатов является многолетняя и плодотворная работа тех экспериментов, в которые автор сделал непосредственный вклад, а также полученные этими экспериментами физи-

ческие результаты.

## Оценка содержания диссертации

Диссертация выполнена на высоком профессиональном уровне, соответствующем стандартам, де-факто принятым в современных экспериментах в физике частиц. Представленная к защите диссертация описывает целый цикл работ, выполненных автором на протяжении более 15 лет, и открывающих новые направления в развитии методики измерений в физике высоких энергий.

Диссертация имеет четкую структуру, все приведенные результаты хорошо иллюстрированы рисунками из опубликованных статей. Особо стоит отметить выводы, которые приведены в конце каждого раздела диссертации. С одной стороны, это свидетельствует о высокой самоорганизации автора и о его четком понимании значимости проведенных им исследований, а с другой стороны, наличие таких промежуточных выводов существенно облегчает чтение диссертации. Список цитированной литературы включает 29 работ, из которых 15 выполнены диссертантом лично и в соавторстве с коллаборантами. Работы, на которых основана диссертация, опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях, индексируемых в библиографических базах данных Web of Science и Scopus. Суммарное количество ссылок на работы, в которых описаны результаты диссертации, составляет 323, причем на работу [6] ссылаются 173 статьи. Эти библиометрические показатели свидетельствуют о высоком интересе научной общественности к результатам, полученных автором диссертации.

Личный вклад Е.А.Усенко в описанные в диссертации результаты не вызывает сомнений. По широте полученных автором результатов, по систематизации опыта построения экспериментов в физике частиц, по объему приведенного материала и по количеству опубликованных автором статей рассмотренная диссертация, безусловно, превосходит требования, предъявляемым Положением о защите ученых степеней к защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

## Замечания

Стоит отметить некоторые недочеты, часто технического характера, замеченные в тексте диссертации и автореферата.

Описывая актуальность работы, автор диссертации указывает среди параметров, характеризующих масштабные детекторы современных экспериментальных установок, среди которых 2 параметра кажутся несовместимыми: перекрытие больших площадей и малые габариты (автореферат, стр.3). По-видимому, автор имел в виду малые габариты считывающей электроники, а не самих детекторов, как это следует из текста.

В таблице 1 автореферата приведены характеристики времяпролетных детекторов трех экспериментов — STAR, FOPI, HADES, из которых автор делает вывод о зависимости временного разрешения РПС камер от спектральных характеристик

аналогового тракта. Однако, непосредственно из таблицы такой вывод не следует, более того, зависимость, если она и наблюдается, не может быть описана количественно.

В таблице 2 автореферата, по-видимому, сбито форматирование строк, что привело к тому, что единицы измерений не соответствуют параметрам. Например, дифф. напряжение смещения оказалось измеренным в фКл, а входная емкость — в W. В соответствующей таблице 5 диссертации таких нарушений форматирования не замечено.

В главе “Введение” приведен список публикаций, на которых основана диссертация, где перечислены названия научных изданий, в которых были опубликованы работы автора. В этом перечислении фигурируют журналы “Ядерная физика” и “Physics of atomic nuclei”, которые фактически являются одним и тем же журналом. Справедливости ради стоит заметить, что двойного учета публикаций у автора нет — все 15 публикаций являются уникальными и самостоятельными работами.

Перечисляя основные положения, выносимые на защиту, соискатель указывает, что им была построена система считывания времяпролетных камер РПС на 160 тыс. каналов для эксперимента ALICE. Стоит отметить, что специализированная интегральная схема усилителя-дискриминатора NINO, безусловно, является одним из элементов, определяющих параметры детектора измерения времени пролета, но только к ней не стоит сводить всю систему считывания этого детектора. Помимо этой схемы, в системы считывания входят и системы приемы триггерных сигналов, и схемы измерения времени, и интерфейсы к системам сбора данных и управления детектором.

В целом диссертация написана грамотным языком, однако, следует заметить пренебрежение автором правил пунктуации, которое иногда приводит к неоднозначному прочтению текста. В диссертации встречаются слова, общеупотребительные в разговорном общении специалистов в экспериментальной физике высоких энергий, но не принятых для научных публикаций. Например, в рис.2 автореферата есть слова “Земляная плоскость”, что грамотнее было бы назвать “плоскостью заземления”. Нет систематики в применении сокращений: по тексту встречается смесь GSI и ГСИ, CERN и ЦЕРН.

На стр.100–101 и рис.57 диссертации не объясняется TRM, DRM, LTM, нет ссылок на них, нет объяснения правой схеме на рис.57.

Не везде в диссертации применяется стандартная терминология, иногда путающая читателя. Например, автор использует слово “ошибка” вместо “погрешность” или неопределенность (раздел 4.4), в то же время как в других разделах диссертации это же слово обозначает неверные решения (раздел 4.1).

В списке цитированной литературы ссылка [6] является двумя различными публикациями, причем в обеих соискатель является соавтором. Было бы правильное разделить эту ссылку на две.

Замеченные погрешности и недочеты в тексте диссертации и автореферата нельзя рассматривать как существенные, и они не искажают восприятие изложенного материала при внимательном прочтении.

## Заключение

Рассмотренная диссертация Е.А.Усенко “Разработка аналоговой электроники считывания многоканальных физических детекторов”, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, является научно-квалификационной работой, в которой содержатся решение научных задач, имеющих важное значение в области создания приборов и методов в экспериментальной физике высоких энергий. Объем выполненных автором исследований, разработанных положений и решений вполне можно квалифицировать как научное достижение. Можно с уверенностью констатировать, что рассмотренная диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемых Положением о присуждении ученых степеней к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Темы, рассмотренные в диссертации, соответствуют выбранной специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики. Автореферат диссертации соответствует содержанию самой диссертации.

Отзыв составил:

Харлов Юрий Витальевич,  
доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник Отделения экспериментальной физики НИЦ “Курчатовский институт” – ИФВЭ  
e-mail: Yuri.Kharlov@ihep.ru  
тел.: +7-(4967)-713329

26.04.2019

\_\_\_\_\_ Харлов Ю.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий» им. А.А.Логанова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
142281, г.Протвино, Московская обл., пл.Науки, д.1  
<http://www.ihep.ru>

Подпись Ю.В.Харлова заверяю:

Ученый секретарь НИЦ “Курчатовский институт” – ИФВЭ

\_\_\_\_\_ Прокопенко Н.Н.

Харлов Юрий Витальевич

- ученая степень: доктор физико-математических наук
- ученое звание: нет
- отрасль науки: физика
- научная специальность: 01.04.23 — физика высоких энергий

Список основных публикаций оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. ALICE Collaboration. S. Acharya, J. Adam, D. Adamova et al.,  $\pi^0$  and eta meson production in proton-proton collisions at  $\sqrt{s}=8$  TeV, Eur.Phys.J. C78 no.3 (2018), 263. DOI: 10.1140/epjc/s10052-018-5612-8
2. ALICE Collaboration. S. Acharya, J. Adam, D. Adamova et al., Neutral pion and eta meson production at mid-rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s}=2.76$  TeV, Phys.Rev. C98 no.4 (2018), DOI: 044901. 10.1103/PhysRevC.98.044901
3. ALICE Collaboration. S. Acharya, J. Adam, D. Adamova et al., Neutral pion and eta meson production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s}=5.02$  TeV, Eur.Phys.J. 78, no.8 (2018), 624. DOI: 10.1140/epjc/s10052-018-6013-8
4. ALICE Collaboration. J. Adam, D. Adamova, M. M. Aggarwal et al. Direct photon production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s}=2.76$  TeV, Phys.Lett. B, 754 (2016), 235-248. DOI: 10.1016/j.physletb.2016.01.020
5. ALICE Collaboration. J. Adam, D. Adamova, M. M. Aggarwal et al., Jet-like correlations with neutral pion triggers in pp and central Pb-Pb collisions at 2.76 TeV, Phys.Lett. B, 763 (2016), 238-250. DOI: 10.1016/j.physletb.2016.10.048
6. ALICE Collaboration (B. Abelev, J. Adam, D. Adamova, Neutral pion production at midrapidity in pp and Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s}=2.76$  TeV, DOI: Eur.Phys.J. C, 74, no.10 (2014), 3108. 10.1140/epjc/s10052-014-3108-8
7. S. Evdokimov, V. Izucheev, Yu. Kharlov, E. Kondratyuk, S. Sadovsky, A. Shangaraev, The ALICE CPV Detector, KnE Energ.Phys, 3 (2018), 260-267. 10.18502/ken.v3i1.1752
8. Y.Kharlov, Performance of Calorimetry in ALICE, PoS LHCP2018 (2018) 231. DOI: 10.22323/1.321.0231
9. ALICE Collaboration (Shreyasi Acharya et al.). Direct photon production at low transverse momentum in proton-proton collisions at  $\sqrt{s}=2.76$  and 8 TeV. Phys.Rev. C99 (2019) no.2, 024912. DOI: 10.1103/PhysRevC.99.024912.
10. ALICE Collaboration (Jaroslav Adam et al.). Direct photon production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{\text{NN}}}=2.76$  TeV. Phys.Lett. B754 (2016) 235-248. DOI: 10.1016/j.physletb.2016.01.020.