

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы Исследование свойств монолитных активных пиксельных сенсоров системы ITS эксперимента ALICE
--

УДК 681.586:621.382.049.77

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A8A	Бикметов Никита Рафаэльевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЯТЦ	Семенов А.О.			

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИЯФ АН ЧР	Кушпиль С.	к.ф.-м.н.		
Инженер ИЯФ АН ЧР	Исаков А.	Инженер		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Бычков П.Н.	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Результаты обучения	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
Р-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
Р-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
Р-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
Р-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
Р-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
Р-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
Р-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
Р-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Р-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
Р-10	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
Р-11	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
Р-12	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
Профессиональные компетенции	
Р-13	Способностью использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области
Р-14	Способностью проводить математическое моделирование процессов и

	объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов и компьютерных кодов для проектирования и анализа
P-15	Готовностью к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу полученных экспериментальных данных
P-16	Способностью использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования
P-17	Готовностью к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок
P-18	Способностью использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу исходных данных для проектирования объектов атомной отрасли
P-19	Способностью к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием
P-20	Готовностью к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ
P-21	Способностью к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам
P-22	Готовностью к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов
P-23	Способностью к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования
P-24	Готовностью к эксплуатации современного физического оборудования, приборов и технологий
P-25	Способностью к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда
P-26	Готовностью разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, сверхвысокочастотных и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем
P-27	Способностью к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа _____ инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) _____ 14.03.02 Ядерная физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) _____ отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Бычков П.Н.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0A8A	Бикметов Никита Рафаэлевич

Тема работы:

Исследование свойств монолитных активных пиксельных сенсоров системы ITS эксперимента ALICE	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.03.2022 г., №87-32/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Экспериментальные данные с детекторных телескопов с использованием чипов ALPIDE в DESY и PS при различных конфигурациях пучка.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор литературных источников; – Запуски с отклонениями частоты ложных срабатываний для пилотного пучка ITS2; – ПО для мониторинга частоты ложных срабатываний чипов системы ITS2; – Эффект каналирования в изогнутом и плоском пиксельных чипах ALPIDE; – Влияние метода кластеризации на распределение длин образуемых пиксельных

	кластеров в плоском и изогнутом чипах ALPIDE; – Анализ полученных результатов; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – Социальная ответственность; – Заключение по работе;
Перечень графического материала	– Презентация для защиты ВКР; – Блок-схема модуля Clustering4D для ПО Corryvreckan

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Основная часть	Кушпиль С.
	Исаков А.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т.Б.
Социальная ответственность	Передерин Ю.В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Основная часть – английский
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение – русский
Социальная ответственность – русский

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	28.03.2022
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЯТЦ	Семенов Андрей Олегович			
Научный сотрудник ИЯФ АН ЧР	Кушпиль С.	PhD		
Инженер ИЯФ АН ЧР	Исаков А.	Инженер		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A8A	Бикметов Никита Рафаэлевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А8А	Бикметову Никите Рафаэльевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии / Радиационная безопасность человека и окружающей среды

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость оборудования, использованного в исследовании в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами работников ТПУ.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>- районный коэффициент – 1,3; - коэффициент дополнительной заработной платы – 1,12</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Общая система налогообложения. Отчисления во внебюджетные фонды – 30,2%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, проведение SWOT-анализа</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета</i>	<i>Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат проекта.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности</i>	<i>Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

Перечень графического материала:

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений;</i>
2. <i>Матрица SWOT;</i>
3. <i>Диаграмма Ганта;</i>
4. <i>Бюджет проекта.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.03.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8А	Бикметов Никита Рафаэльевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А8А	Бикметову Никите Рафаэлевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность окружающей среды

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Свойства пиксельных сенсоров действующей системы ITS2 и прототипов изогнутых детекторов для дальнейшего развития системы трекинга в эксперименте ALICE</i>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><i>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</i> – <i>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> – <i>ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.</i> – <i>ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.</i> – <i>ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1)</i> – <i>СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1)</i> – <i>СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (в ред. изм. № 1, утв. приказом МЧС России от 09.12.2010 № 643).</i> – <i>ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.</i> – <i>ГОСТ 12.1.009-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Термины и определения</i> – <i>ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность</i> – <i>ГОСТ Р МЭК 61140-2000 Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи.</i> – <i>СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009</i> – <i>СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений</i> – <i>ГОСТ 32548-2013 Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Общие технические условия.</i> – <i>СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование</i> – <i>ГОСТ 12.1.029-80 Средства и методы защиты от шума.</i> – <i>ГОСТ 12.4.026-76* Система стандартов</i>
--	--

	<p>безопасности труда. Цвета сигнальные и знаки безопасности</p> <ul style="list-style-type: none"> – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов – ГОСТ 12.1.006-84 Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля – ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Микроклимат – возможное отклонение в показателе микроклимата – Шум – возможное превышение уровня шума – Освещенность рабочей зоны – возможная отклонение от санитарных норм – Пожароопасность – возможное несоответствие нормам пожарной безопасности – Электробезопасность – возможное несоответствие нормам электробезопасности
3. Экологическая безопасность:	Данное исследование не наносит вреда окружающей среде, но может быть нанесен вред в процессе создания вычислительного оборудования
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – Возникновение пожара – Удар электрическим током – Падение с высоты собственного роста – Падение с лестницы – Наиболее типичная ЧС: падение с высоты собственного роста

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.03.2022
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8А	Бикметов Никита Рафаэлевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Уровень образования бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) отделение ядерно-топливного цикла

Период выполнения весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: 10.06.2022

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
28.03.2022	Обзор литературных источников	10
10.04.2022	Анализ запусков с отклонениями частоты ложных срабатываний для пилотного пучка ITS2	10
20.04.2022	Разработка ПО для мониторинга частоты ложных срабатываний пиксельных чипов системы	10
10.05.2022	Анализ эффекта каналирования в изогнутом и плоском пиксельных чипах ALPIDE	15
20.05.2022	Исследование влияния метода кластеризации на распределение длин образуемых пиксельных кластеров в плоском и изогнутом чипах ALPIDE	15
25.05.2022	Анализ полученных результатов	10
30.06.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
02.06.2022	Социальная ответственность	10
04.06.2022	Заключение по работе	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЯТЦ	Семенов Андрей Олегович			

Консультанты

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИЯФ АН ЧР	Кушпиль С.	PhD		
Инженер ИЯФ АН ЧР	Исаков А.	Инженер		

СОГЛАСОВАНО:**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Бычков П.Н.	к.т.н.		

School of Nuclear Science & Engineering
 Field of training (specialty): 14.03.02 Nuclear Science and Technology
 Nuclear-Fuel Cycle Division

BACHELOR THESIS

Topic of research work Characterization of monolithic active pixel sensors in ALICE
--

UDC 681.586:621.382.049.77

Student

Group	Full name	Signature	Date
0A8A	Bikmetov Nikita Rafaelievich		

Scientific supervisor

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Senior lecturer of DNFC	Semenov A.O.	Candidate of Technical Sciences		

Practical part consultant

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Staff scientist of NPI CAS	Kushpil S.	PhD		
Engineer of NPI CAS	Isakov A.	Engineer		

ADVISERS:

Section "Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving"

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor of DSSH	Yakimova T.B.	Candidate of Economic Sciences		

Section "Social Responsibility"

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor of DNFC	Perederin Y.V.	Candidate of Technical Sciences		

ADMITTED TO DEFENSE:

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor of DNFC	Bychkov P.N.	Candidate of Technical Sciences		

PLANNED EDUCATIONAL RESULTS OF MAIN CURRICULUM

Results	Competencies name
Universal competencies	
R-1	Able to search, critical analysis and synthesis of information, apply a systematic approach to solve tasks
R-2	Able to determine the range of tasks within the current goal and choose the most optimal ways to solve them, based on the current legal norms, available resources and restrictions
R-3	Capable of social interaction and implementation of their role in the team
R-4	Able to communicate business in verbally and written forms in the state language of the Russian Federation and foreign language(s)
R-5	Able to perceive the intercultural diversity of society in socio-historical, ethical and philosophical contexts
R-6	Able to manage own time, build and implement the trajectory of self-development based on the principles of lifelong education
R-7	Able to maintain the proper level of physical fitness to ensure full-fledged social and professional activities
R-8	Able to create and maintain safe living conditions, including in case of emergencies
R-9	Able to show entrepreneurial skills in professional activities, including as part of the commercially promising product based on a scientific and technical idea
General professional competencies	
R-10	Able to use basic knowledge of natural science disciplines in professional activities, apply methods of mathematical analysis and modeling, theoretical and experimental research
R-11	Able to search, store, process and analyze information from various sources and databases, provide it in the required format using information, computer and network technologies
R-12	Able to use modern information systems in professional activities, analyze the dangers and threats arising from this, comply with the basic requirements of information security, including the protection of government secrets
Professional competencies	
R-13	The ability to use scientific and technical information, domestic and foreign experience on research topics, modern computer technologies and information resources in their subject area
R-14	The ability to perform mathematical modeling of processes and objects of the nuclear industry using standard methods and computer codes for design and analysis
R-15	The ability to conduct physical experiments according to a given methodology, compiling a description of ongoing research and analyzing the experimental data obtained
R-16	The ability to use technical means to measure the main parameters of research objects
R-17	The ability to form a report on the completed task, to participate in the implementation of research and development results

R-18	The ability to use information technology in the development of new installations, materials and devices, to the collection and analysis of initial data for the design of nuclear industry facilities
R-19	The ability to calculate and design parts and assemblies of devices and installations in accordance with the terms of reference
R-20	The ability to develop a design and working technical documentation, registration of completed design work
R-21	The ability to control the compliance of developed projects and technical documentation with standards, specifications, safety requirements and other regulatory documents
R-22	Readiness to conduct a preliminary feasibility study of design solutions in the development of installations and devices
R-23	The ability to control compliance with technological discipline and maintenance of technological equipment
R-24	Ability to operate modern physical equipment, devices and technologies
R-25	The ability to assess nuclear and radiation safety, to assess the impact on the environment, to monitor compliance with environmental safety, safety, norms and rules of industrial sanitation, fire, radiation and nuclear safety, labor protection standards
R-26	The ability to develop ways to use nuclear power, plasma, laser, microwave and high-power pulse installations, electron, neutron and proton beams, methods of experimental physics in solving technical, technological and medical problems
R-27	The ability to draw up technical documentation (work schedules, instructions, plans, estimates, applications for materials, equipment), as well as reporting in compliance with approved forms

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

School of Nuclear Science & Engineering
 Field of training (specialty): 14.03.02 Nuclear Science and Technology
 Nuclear-Fuel Cycle Division

APPROVED BY:
 Program Director

_____ _____ Bychkov P.N.
 (Signature) (Date) (Full name)

ASSIGNMENT
For the Graduation Thesis completion

In the form of:

Bachelor work

For a student:

Group	Full name
0A8A	Bikmetov Nikita Rafaelievich

Тема работы:

Characterization of monolithic active pixel sensors in ALICE

Approved by the order of the Director (date, number)	28.03.2022 y., №87-32/c
--	-------------------------

Deadline for completion of bachelor work:

10.06.2022

TECHNICAL TASK:

Initial data for research	Experimental data from DESY and PS test-beam setups using ALPIDE chips with various beam configurations.
List of issues to be investigated, designed and developed	<ul style="list-style-type: none"> – Review of literary sources; – Channeling effect in ALPIDE curved and flat pixel chips; – Influence of the clusterization method on the distribution of lengths of pixel clusters formed in flat and curved ALPIDE chips; – Analysis of the obtained results; – Software for monitoring the fake-hit rate of ITS2 chips; – Financial management, resource efficiency and

	resource saving; – Social responsibility; – Conclusion on the work;
List of graphic material	– Presentation for work defense; – Clustering4D module block-scheme for Corryvreckan software

Advisors to the sections of graduation thesis

Section	Advisor
Main part	Kushpil S.
	Isakov A.
Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving	Yakimova T.B.
Social Responsibility	Perederin Y.V.

The titles of the sections that must be written in Russian and foreign languages:

Main part – English
Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving – Russian
Social Responsibility – Russian

Date of issuance of the assignment for bachelor work completion according to the schedule	28.03.2022
--	------------

Assignment issued by a scientific supervisor / advisor:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Senior lecturer of DNFC	Semenov A.O.			
Staff scientist of NPI CAS	Kushpil S.	PhD		
Engineer of NPI CAS	Isakov A.	Engineer		

Assignment accepted for execution by a student:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A8A	Bikmetov Nikita Rafaelievich		

**TASK FOR SECTION
"FINANCIAL MANAGEMENT, RESOURCE EFFICIENCY AND RESOURCE SAVING"**

For a student:

Group	Full name
0A8A	Bikmetov Nikita Rafaelievich

School	ESNT	School department (REC)	DNFC
Level of education	Bachelor	Direction/speciality	14.03.02 Nuclear physics and technology/ Radiation safety of the environment

Initial data for the section "Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving":

4. <i>The cost of scientific research resources (SRR): material and technical, energy, financial, informational and human</i>	<i>Data processing equipment costs – 1304 rub. Basic salary of STR performers – 161416 rub. Additional salary for theme performers – 19370 rub. Contributions to extrabudgetary funds – 54597 rub. Overhead costs – 789 rub.</i>
5. <i>Expenditure rates and expenditure standards for resources</i>	<i>Regional coefficient of the city of Tomsk – 1,3</i>
6. <i>Current tax system, tax rates, charges rates, discounting rates and interest rates</i>	<i>Amount of contributions to extrabudgetary funds – 30,2%</i>

The list of subjects to study, design and develop:

4. <i>Assessment of commercial and innovative potential of STR</i>	<i>Competitive technical solutions scorecard. SWOT-analysis.</i>
5. <i>Scheduling of STR management process: structure and timeline, budget, risk management and organization of purchases</i>	<i>Creation of the time schedule of the project. Calculation of STR budget.</i>
6. <i>Determination of resource, financial, economic efficiency</i>	<i>Assessing the economic efficiency of using all three types of visualization to control the effectiveness of the method</i>

A list of graphic material:

5. <i>Assessment of the competitiveness of technical solutions;</i> 6. <i>SWOT Matrix;</i> 7. <i>Gantt chart;</i> 8. <i>Project budget.</i>
--

Date of issue of the task for the section according to the schedule	10.05.2022
--	------------

Task issued by adviser:

Position	Full name	Scientific degree, rank	Signature	Date
Assistance Professor of	Yakimova T.B.	Candidate of Economic Sciences		

The task was accepted by the student:

Group	Full name	Signature	Date
0A8A	Bikmetov Nikita Rafaelievich		

**TASK FOR SECTION
«SOCIAL RESPONSIBILITY»**

For student:

Group	Full name
0A8A	Bikmetov Nikita Rafaelievich

School	ESNT	School department (REC)	DNFC
Level of education	Bachelor	Direction/speciality	14.03.02 Nuclear physics and technology/ Radiation safety of the environment

Initial data for the section «Social Responsibility»:

<i>1. Characteristics of the object of study (substance, material, device, algorithm, technique, working area) and areas of its application</i>	<i>Properties of the current ITS2 pixel sensors and curved detector prototypes for further development of the tracking system in the ALICE experiment</i>
---	---

The list of subjects to study, design and develop:

<p>5. <i>Legal and organizational issues of security:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>special (characteristic for the operation of the object of study, the designed working area) legal norms of labor legislation;</i> – <i>organizational measures in the layout of the working area.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> – <i>GOST 12.0.003-2015 System of labor safety standards (SSBT). Dangerous and harmful production factors. Classification.</i> – <i>GOST 30494-96 Residential and public buildings. The parameters of the microclimate in the premises.</i> – <i>GOST 12.1.003-83 Occupational safety standards system (SSBT). Noise. General safety requirements (with Amendment No. 1).</i> – <i>SNiP 23-05-95* Natural and artificial lighting (with Amendment No. 1).</i> – <i>SP 12.13130.2009. Determination of categories of premises, buildings and outdoor installations in terms of explosion and fire hazard (as amended by No. 1, approved by order of the Russian Emergencies Ministry of 09.12.2010 No. 643).</i> – <i>GOST 12.1.004-91 Occupational safety standards system. Fire safety. General requirements.</i> – <i>GOST 12.1.009-76 Occupational safety standards system (SSBT). Electrical safety. Terms and Definitions.</i> – <i>GOST R12.1.019-2017 SSBT Electrical safety</i> – <i>GOST R IEC 61140-2000 Protection against electric shock. General provisions on safety provided by electrical equipment and electrical installations in their relationship.</i> – <i>SanPiN 2.6.1.2523-09 Radiation safety standards NRB-99/2009.</i> – <i>SanPiN 2.2.4.548-96 Hygienic requirements for the microclimate of industrial premises.</i> – <i>GOST 32548-2013 Ventilation of buildings. Air distribution devices. General specifications.</i> – <i>SNiP 41-01-2003 Heating, ventilation and air conditioning.</i> – <i>GOST 12.1.029-80 Means and methods of noise protection.</i> – <i>GOST 12.4.026-76* System of labor safety standards. Signal colors and safety signs.</i> – <i>SanPiN 2.2.2/2.4.1340-03 On the Enactment of Sanitary and Epidemiological Rules and Regulations</i> – <i>GOST 12.1.006-84 Electromagnetic fields of radio frequencies. Permissible levels in the workplace and requirements for monitoring.</i>
--	---

	<ul style="list-style-type: none"> – GOST R 22.0.02-2016 Safety in emergency situations. Terms and definitions.
6. Industrial safety: 2.1. Analysis of identified harmful and dangerous factors 2.2. Rationale for mitigation measures	<ul style="list-style-type: none"> – Microclimate - a possible deviation in the microclimate indicator – Noise – possible excess of the noise level – Illumination of the working area - a possible deviation from sanitary standards – Fire hazard - possible non-compliance with fire safety standards – Electrical safety - possible non-compliance with electrical safety standards
7. Environmental safety:	The current research does not harm the environment, but may be harmful in the process of creating computing equipment
8. Safety in emergency situations:	<ul style="list-style-type: none"> – Starting a fire; – Electric shock; – Falling from a height of one's own height; – Falling down stairs; – The most typical emergency: a fall from a height of one's own height;

Date of issue of the task for the section according to the schedule	28.03.2022
--	------------

Task issued by adviser:

Position	Full name	Scientific degree, rank	Signature	Date
Assistance Professor of DNFC	Perederin Y.V.	Candidate of Technical Sciences		

The task was accepted by the student:

Group	Full name	Signature	Date
0A8A	Bikmetov Nikita Rafaelievich		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

School School of Nuclear Science & Engineering
 Direction of Education (Specialty) 14.03.02 Nuclear Science and Technology
 Level of Education Bachelor degree program
 School Division (REC) Nuclear Fuel Cycle Division
 Execution period spring semester 2020/2021 academic year

In form of:

Bachelor work

SCHEDULED ASSESMENT CALENDAR For the bachelor work completion

Deadline for bachelor work completion: 10.06.2022

Assesment date	Title of section (module) / type of work (research)	Maximum score for the section (module)
28.03.2022	Literature review	10
10.04.2022	Analysis of runs with deviation in the fake-hit rate for the ITS2 pilot beam	10
20.04.2022	Development of software for monitoring the fake-hit rate of ITS2 pixel chips	10
10.05.2022	Analysis of the channeling effect in curved and flat ALPIDE pixel chips	15
20.05.2022	Investigation of the influence of the clusterization method on the length distribution of formed pixel clusters in flat and curved ALPIDE chips	15
25.05.2022	Analysis of the results	10
30.06.2022	Financial management, resource efficiency and resource saving	10
02.06.2022	Social responsibility	10
04.06.2022	Conclusion on work	10

COMPILED BY:

Scientific supervisor:

Position	Full name	Academic degree, academic status	Signature	Date
Senior lecturer of DNFC	Semenov A.O.	Candidate of Technical Sciences		

Advisors:

Position	Full name	Academic degree, academic status	Signature	Date
Staff scientist of NPI CAS	Kushpil S.	PhD		
Engineer of NPI CAS	Isakov A.	Engineer		

APPROVED BY:**Program Director**

Position	Full name	Academic degree, academic status	Signature	Date
Associate Professor of DNFC	Bychkov P.N	Candidate of Technical Sciences		

Abstract

Final qualifying work contains 101 p., 38 figures, 26 tables, 52 sources of literature, 1 app.

Key words: ALICE, ITS, pixel sensors, ALPIDE chip, channeling.

The object of the study is monolithic active pixel sensors for ITS in ALICE experiment.

The scope of this work is investigation of problematic runs for the ITS system and the channeling effect for research prototypes of curved pixel chips in the ALICE experiment.

As part of the ALICE experiment, a study was made of the properties of monolithic active pixel sensors for the current ITS2 system and the ITS3 system under development. For ITS2, a performance check of ALPIDE chips was carried out. For ITS3, a study was made of the effect of clustering and channeling in prototypes of new curved chips.

The result of the bent chip studies for ITS3 is the cluster length distributions for different settings of test-beams and clusterization methods.

Implementation degree: high, the project can be used at the present time for further pixel sensors characterization.

Applications: high energy physics, detection methods, detector development and production.

Economics efficiency is high due to usage of free software.

Contents

Introduction	14
1 Literature overview	15
1.1 ALICE experiment overview	15
1.2 Inner Tracking System (ITS)	16
1.3 Monolithic Active Pixel Sensors (MAPS)	18
1.4 Motivation for ITS3 upgrade	22
1.5 Technologies in ITS3	23
1.6 Physical effects in silicon pixel detectors	28
1.6.1 Basic theory of channeling effect	28
1.6.2 Fake-hit rate	32
1.6.3 Clusterization	33
1.7 Quality Control (QC) at CERN.....	33
1.7.1 O ² computing system	34
1.7.2 Data Quality Control architecture.....	34
1.7.3 Quality Control data rates	37
1.8 Corryvreckan.....	38
2 Experimental part.....	42
2.1 Quality control	42
2.2 W-chip.....	46
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	54
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	54
3.1.2 Потенциальные потребители результатов исследования	54

3.1.3	SWOT – анализ	56
3.2	Планирование научно-исследовательских работ	58
3.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	58
3.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	59
3.2.3	Определение трудоемкости выполнения работ	60
3.3	Планирование научно-исследовательских работ	64
3.3.1	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	64
3.3.2	Основная заработная плата исполнителей НТИ	66
3.3.3	Дополнительная заработная плата исполнителей НТИ	67
3.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды	68
3.3.5	Накладные расходы	69
3.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	70
4	Социальная ответственность	75
4.1	Оценка вредных и опасных факторов	75
4.2	Микроклимат	76
4.3	Шум	78
4.4	Освещение	79
4.5	Электромагнитные поля	82
4.6	Взрывопожарная и пожарная опасность	83
4.7	Электробезопасность	85
4.8	Аварийные ситуации	86
4.9	Выводы по главе	88
	Conclusion	89
	References	91

Introduction

At the moment, the most promising research in the field of physics are the experiments carried out at the LHC (LHC) under the leadership of CERN. To obtain all the necessary information about the phenomena under study, special detector units are used, designed in accordance with the experiment being carried out.

Due to the complexity of conducting experiments on the collision of high-energy particle beams, the requirements imposed on assessing the quality of the installed equipment and conducting a preliminary analysis are significantly increasing.

The detector system used in ALICE is currently being prepared for significant improvements before the next launch of the LHC. In particular, it is planned to switch to a new internal tracking system ITS3 (at the moment ITS2 is used), the design of which is supposed to use new cylindrical pixel detectors. The study of the characteristics and evaluation of the quality of new systems is an urgent task at the moment at CERN.

The purpose of this work is the characterization of the ITS pixels sensors for ITS2 and research prototypes for ITS3.

In accordance with the goal, the following series of tasks was drawn up:

- Study of technical features of silicon pixel sensor used in ITS2 and ITS3;
- Analysis of deviating work quality parameters of ITS2 pixel sensors;
- Development of the software for ITS2 parameters characterization and online monitoring during LHC work;
- Analysis of clustering effect in bent pixel sensors for ITS3 studies;
- Data processing and cluster reconstruction software development for channeling effect investigation in bent pixel sensors.

1 Literature overview

1.1 ALICE experiment overview

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) is one of the four large high-energy experiments at the LHC (Large Hadron Collider) at CERN [1]. The main purpose of the ALICE experiment is to investigate properties of hot and dense, strongly interacting QCD (Quark-Gluon Plasma) [2] which is produced in collisions of ultra-relativistic nuclei. Such collisions result in high-multiplicity final states and require thus high granularity detector design.

General size of the ALICE is $16 \times 16 \times 26 \text{ m}^3$. The ALICE detector can be divided into the Central Barrel and forward muon arm. The Central Barrel hosts several detectors which are installed inside a large L3 magnet. The magnet creates a solenoidal magnetic field of 0.5 T parallel to the beam line [3].

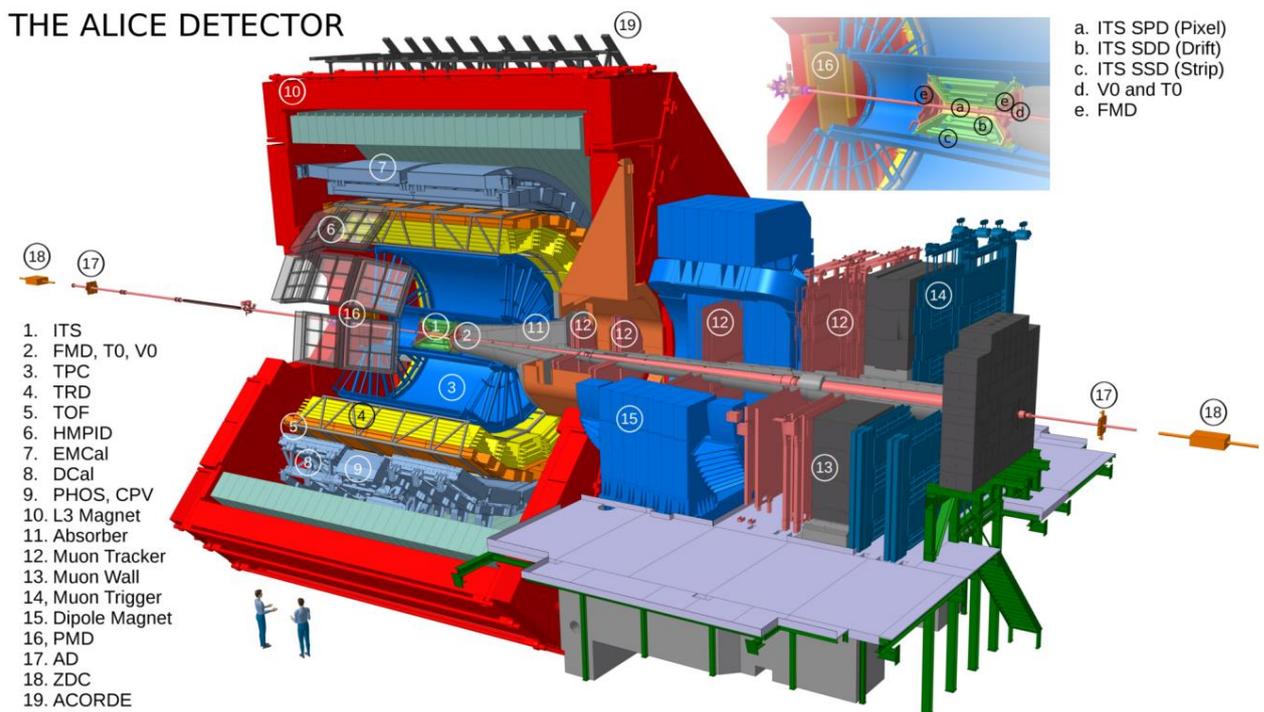


Figure 1 – ALICE detector during LHC Run 1 and Run 2. Taken from [1].

These 18 subsystems could be divided into three groups:

1) The central barrel, detectors of which cover the pseudorapidity range $|\eta| < 0,9$ and cover the full azimuth. Central barrel group includes:

2) The forward detectors, which are located outside of the central barrel coverage at $|\eta| > 0,9$. In this area trigger detectors are placed to receive trigger signals and additional event characterization.

3) The muon arm, which consists of absorber, muon tracker, wall and trigger and dipole magnet, covers the pseudorapidity range $-2,5 < \eta < 4,0$. It is used to measure muons produced during heavy-ion collisions.

One of the main advantages of the ALICE in comparison with ATLAS and CMS is significantly low material budget. Particle produced in nuclear interactions has to transverse 11-13% of radiation length until it flies out of the Time-Projection Chamber (TPC) [4], while in ATLAS and CMS it is $\sim 40\%$ before particle enters the calorimeters at mid-rapidity [5,6]. Such small material content is achieved by usage of TPC, which active volume is filled with gas for tracking purposes. A 0,5 T solenoid magnet allows tracking at lower particles transverse momentum (about 80 GeV/c only with use of Inner Tracking System) than ATLAS [5] and CMS [6].

Particle identification processes in ALICE are based on:

- Ionization energy losses measurements ($-dE/dx$);
- Time-of-flight;
- Electromagnetic calorimetry;
- Muon filters;
- Cherenkov radiation;
- Topological decay reconstruction [1].

Utilization of wide variety of identification methods provides great particle identification in wide range of transverse momentum.

1.2 Inner Tracking System (ITS)

The ITS underwent a complete upgrade during the LHC long shut down phase 2 in 2018--2021. The new detector called ITS2 is formed by seven cylindrical layers of monolithic active pixel sensors [7], see Fig. 2. The layers are arranged to the Inner

Barrel (IB) and the Outer Barrel. The IB encompasses the three innermost layers (labeled as 0,1,2). The OB is formed by the four outer layers referred to as layers 3-6. Each layer is constructed from segments called staves, which play a role of building blocks of the ITS2.

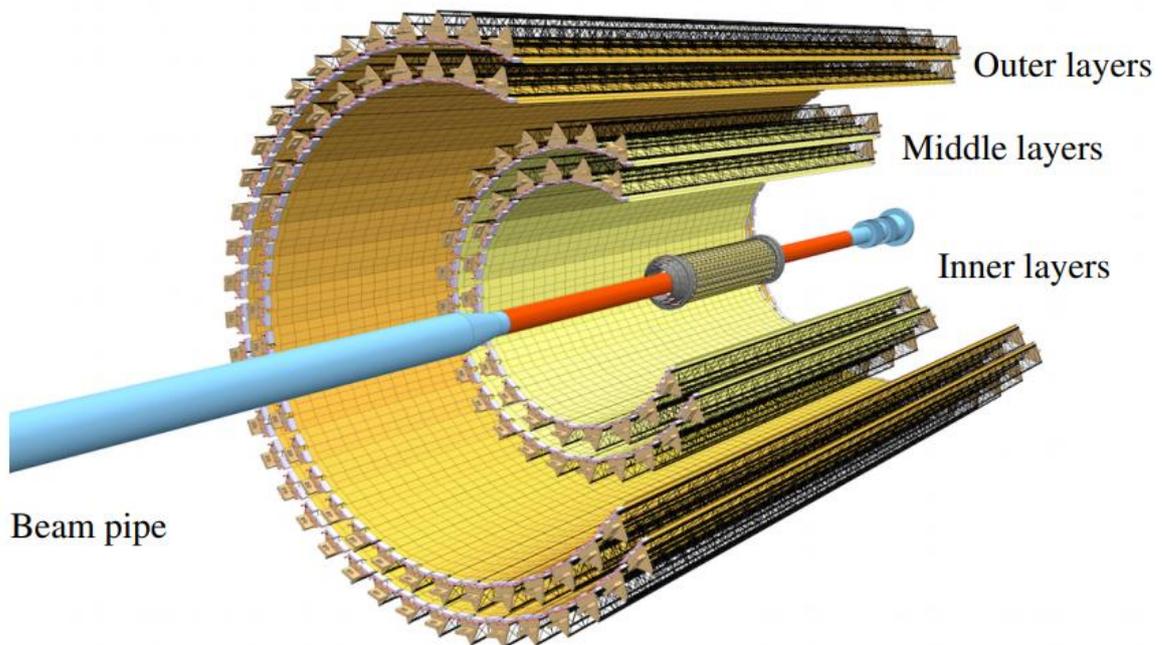


Figure 2 – ITS2 detector. Taken from [8].

Each stave includes three elements:

- Space Frame: a support structure made of carbon to provide a mechanical support;
- Cold Plate: a part of cooling system. Cold Plate is basically is a sheet made of carbon fibre which dissipate heat generated in sensors.
- Hybrid Integrated Circuit (HIC) which consists of pixel sensors and Flexible Printed Circuit (FPC) with readout and power buses.

Structure of stave can be seen in Fig. 3.

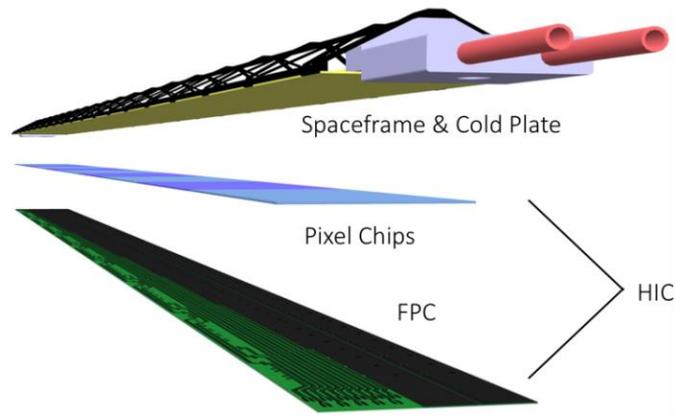


Figure 3 – Scheme of ITS2 staves. See text for more details. Taken from [8].

Technical parameters of the ITS2 are presented in the Table 1.

Table 1 – Technical parameters of ITS2 [9]

Parameter	Inner Layers			Middle Layers		Outer Layers	
	0	1	2	3	4	5	6
Layer Number	0	1	2	3	4	5	6
Length, mm	271			843		1475	
Radius, mm	22.4	30.1	37.8	194.4	243.9	342.3	391.8
Number of pixel chips	108	144	180	2688	3360	8232	9408
Number of modules	12	16	20	384	480	1176	1344
Number of staves	12	16	20	24	30	42	48
Chip square, mm ²	15 x 30						
Coverage square, m ²	10						

1.3 Monolithic Active Pixel Sensors (MAPS)

Main tasks of ITS are tracking of particles with low transverse momentum (≤ 1 GeV/c) and improvement of tracking spatial resolution in pair with TPC. With correct tracking and very low material budget ($\approx 0,3\% X_0$) it is possible to localize the interaction point with great resolution ($\sigma_{r\varphi}\sigma_z \approx 5 \mu\text{m}$).

Each of seven layers consists of ALPIDE modules. ALPIDE module is formed of 1024×512 pixel sensors and has a size of 30×15 mm [10].

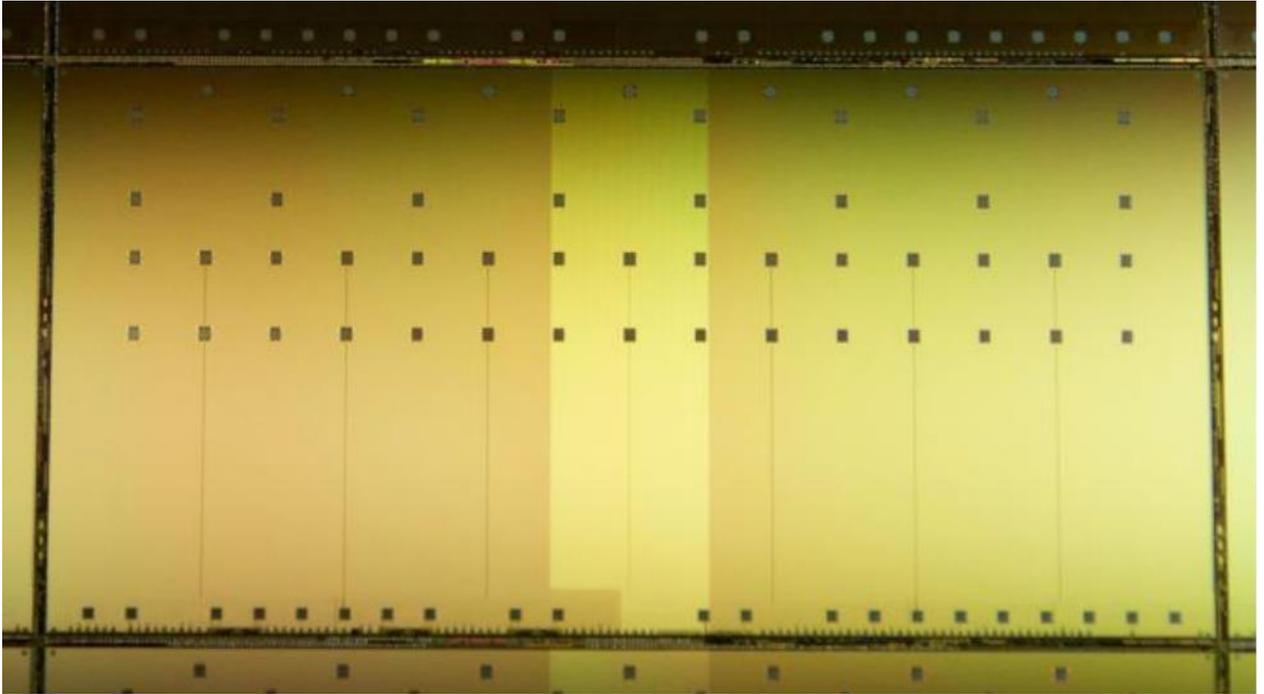


Figure 4 – Photograph of an ALPIDE module. Taken from [9].

All layers of the ITS2 are equipped with the same type of Monolithic Active Pixel Sensors (MAPS). The MAPS technology was chosen to meet strict requirements for high granularity and low material budget [7]. Total amount of pixels is about $12,5 \cdot 10^9$ with digital output. Pixel proportions are $27 \times 27 \mu\text{m}$ and its thickness was reduced to $50 \mu\text{m}$ for less material budget [9]. MAPS can be used to produce very thin silicon detectors, since the sensor and readout electronics are integrated into one silicon matrix. This allows to reduce materials per each sensor and simplifies the production.

MAPS technology has been rapidly developing in last years. The first large-scale application of this technology was in STAR PXL detector. The ULTIMATE chips were produced with AMS $0,45 \mu\text{m}$ technology [11]. However, these chips were not suitable for ITS2 upgrade due to their low readout speed and radiation resistance. The ITS2 sensors were produced with the 180 nm CMOS technology by the company TowerJazz [12].

The TowerJazz technology allows for achieving high integration density by the availability of six metal layers and the small structure size as well as of the deep p-well. This deep p-well enables to fabricate the PMOS transistors on a p-type epitaxial

layer and prevents n-well electrode of PMOS transistors from competing in charge collection with the readout n-well diodes, see Fig. 5.

The epitaxial layer has high-resistivity ($> 1 \text{ k}\Omega/\text{cm}$). A moderate reverse substrate bias ($< 10 \text{ V}$) can be applied to increase size of the depleted region and to improve charge collection [12].

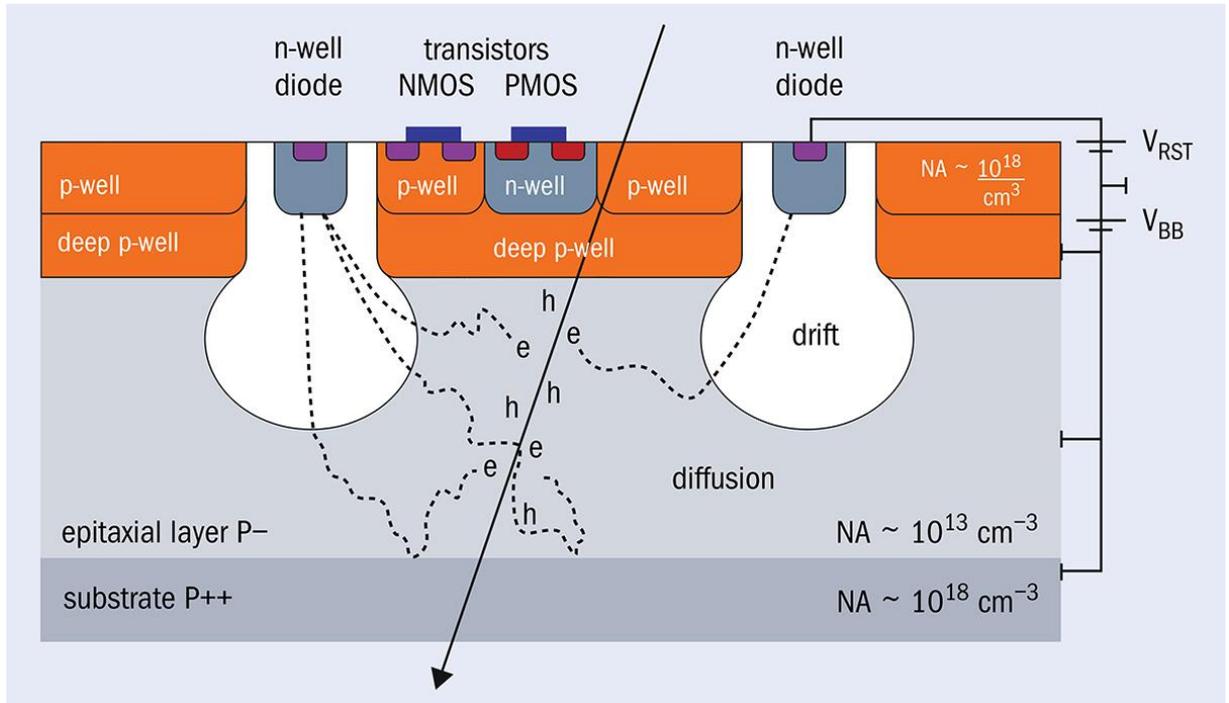


Figure 5 – Schematic view of the well-structure in MAPS for ALPIDE [13].

Each pixel in the ALPIDE sensor contains signal processing chain consisting of a amplifier, signal comparator, and multiple-event memory buffer, see the right inset in Fig 6. Event time resolution is defined by the rise time of the discriminating amplifier, which is less than $2 \mu\text{s}$ [14]. The shaping time is longer and makes it act as an analogue delay line. All this allows to be discriminated and strobed with latency of $\sim 2 \mu\text{s}$ into pixel buffers during the operation of a system.

Table 2 shows requirements which were imposed on the MAPS technology for ITS2 in TDR [14]. The rightmost column then shows that the designed ALPIDE sensor meets all of them.

Table 2 – MAPS parameters and ITS2 requirements [14]

Required parameters	IB requirements	OB requirements	ALPIDE
Chip size, mm ²	≤ 30×15	≤30×15	Achieved
Chip thickness, μm	50	100	Achieved
Detection efficiency, %	> 99	> 99	Achieved
Fake-hit rate, pixel ⁻¹ · event ⁻¹	<10 ⁻⁶	<10 ⁻⁶	≪10 ⁻⁶
Spatial resolution, μm	5	10	≈ 5
Maximal radiation hardness, krad	2700	100	Achieved
Maximal indirect radiation hardness, 1 MeV · n _{eq} · cm ⁻²	1.7 · 10 ¹³	10 ¹²	Achieved

The ALPIDE readout system was developed to receive and analyze signals from the matrix. Such architecture makes the chip more energy efficient since the transmitting data consists only of digital signals inside of chip. ALPIDE applies zero suppression, so it sends to the readout only the addresses of the pixels which fired. This allowed to reduce the power consumption.

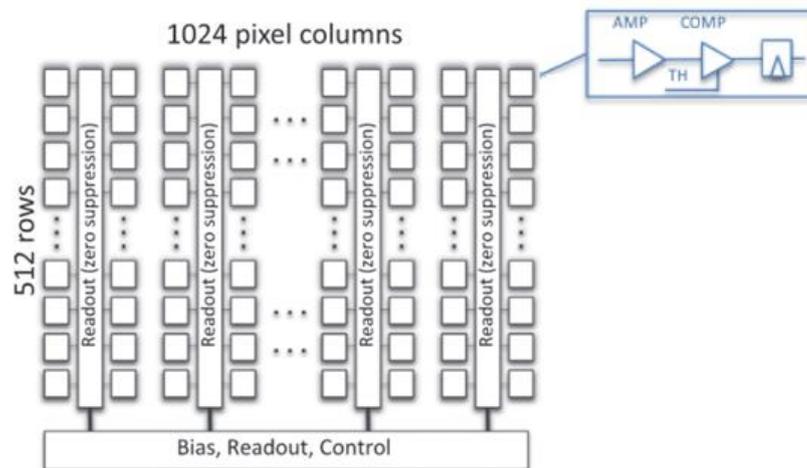


Figure 6 – Architecture of ALPIDE chip [10].

1.4 Motivation for ITS3 upgrade

For the LHC Run 4, the ALICE collaboration prepares a follow up upgrade of the ITS IB. Goal of this upgrade would be to further reduce material budget in the vicinity of the interaction point and to move the inner most pixel sensors even closer to the interaction point [8].

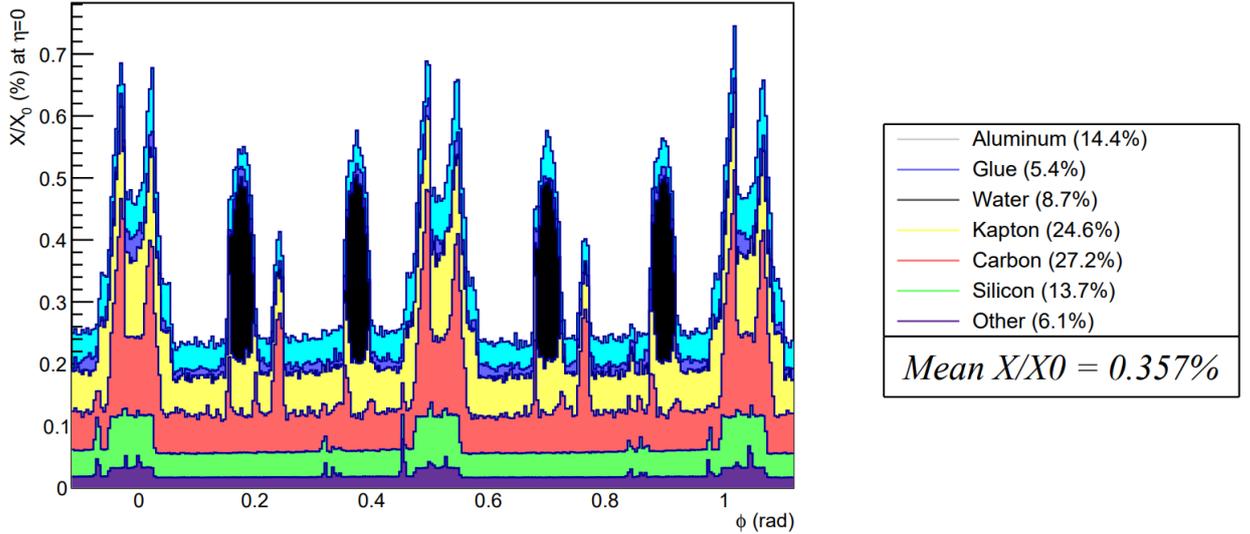


Figure 7 – Azimuthal distribution of the material budget of Layer0 in ITS2 [8]

The material budget of the ITS2 IB stave is largely formed by passive materials, see Fig. 7. The silicon sensor, which is ideally the only component required for particle detection, contributes only by 15% to the total material budget, while the rest of the budget comes from the FPC (~50% including passive components and glue), the cooling system (~20%) and the carbon spaceframe (~15%). This passive material causes significant multiple scattering of low transverse momentum particles and deteriorates tracking and vertexing capabilities.

The recent technology called stitching allows to fabricate sensors of arbitrary dimensions, so the only limiting factor is the size of the wafer. The distribution of signals and power could be arranged entirely inside the chip.

The current cooling system, which utilizes water, could be replaced with new system based on low-speed (< 2 m/s) air flow to remove produced heat by chips [8]. The possibility of utilizing air convection in pair with peripheral liquid cooling was

already investigated during ITS2 research and development. During this investigation it was demonstrated, that such cooling system is efficient for sensors with power density below 20 mW/cm^2 [15]. It also should be taken into consideration, that higher air flow is need to be supplemented with stiffer mechanical support as the vibrations caused by air flow need to stay insignificant during data taking [8].

In the ITS2 ALPIDE chips the power density is about 40 mW/cm^2 . However, most of this power is dissipated be the digital interface circuit and high-speed data links, which are placed close to one edge of the chip in a small area of about $30 \text{ mm} \times 1,5 \text{ mm}$. About sixth part is only dissipated in the pixel matrix, so the power density there is $\sim 7 \text{ mW/cm}^2$. Therefore, it is possible to arrange the digital periphery at the edge of the detector in case if the pixel sensor has the dimensions of a stave [8].

1.5 Technologies in ITS3

The new key idea is to produce efficient large scale sensors with stitching technology in order to replace current modules based on staves. Figure 8 shows an example of detector for X-Ray applications manufactured with stitching technology.

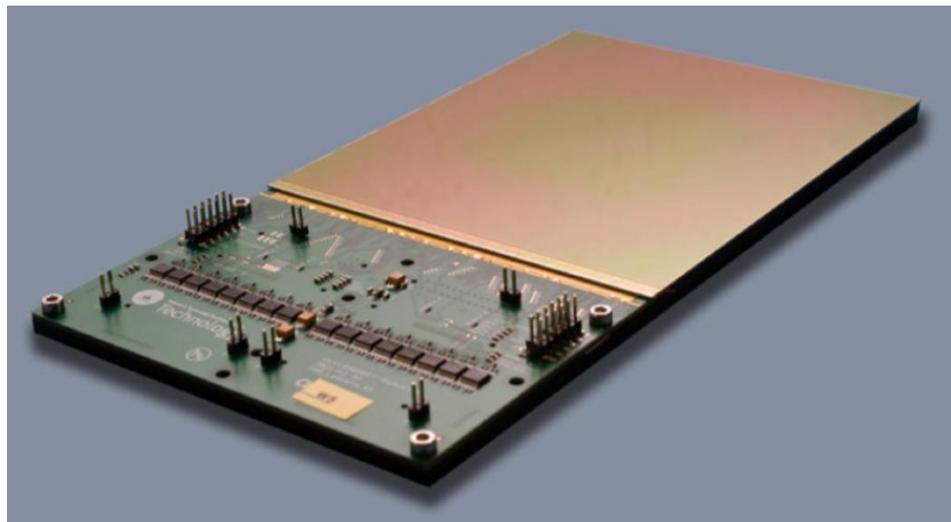


Figure 8 – Stitched sensor chip for X-Ray applications. Size $139,2 \times 120 \text{ mm}$ [8]

The current idea is to develop a new circuit shown at figure 9 of size $15 \times 140 \text{ mm}$, which is equals to half of stave length. The columns have the same size

as in the ALPIDE sensor. Black arrow shows the direction of data transmission along one long side of the sensor.

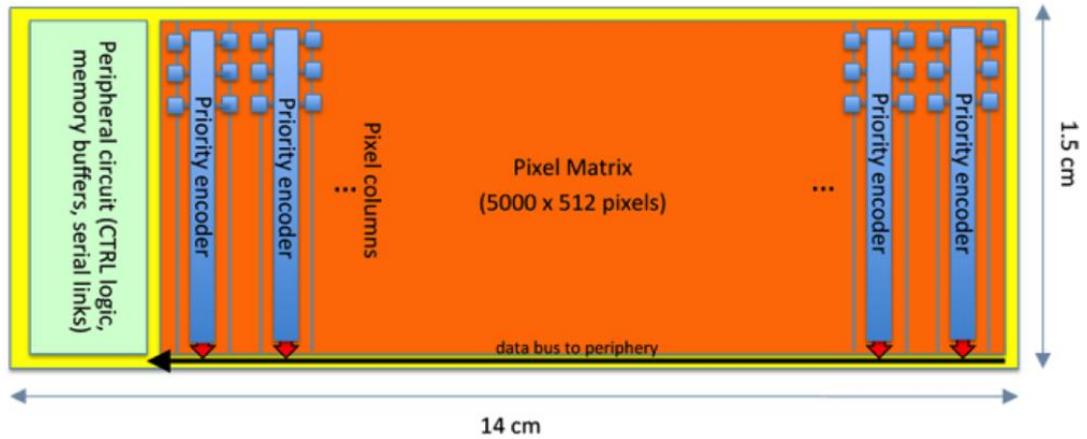


Figure 9 – Scheme of sensor stitched into horizontal direction [8].

Large sensor should be thinned to 20-40 μm (0.05 % X_0) and the surface of it will be plasma polished to release mechanical stress. Opportunity to operate very thin bended sensors of about 20 μm seems very promising and could lead to production of silicon-only cylindrical layers of ITS.

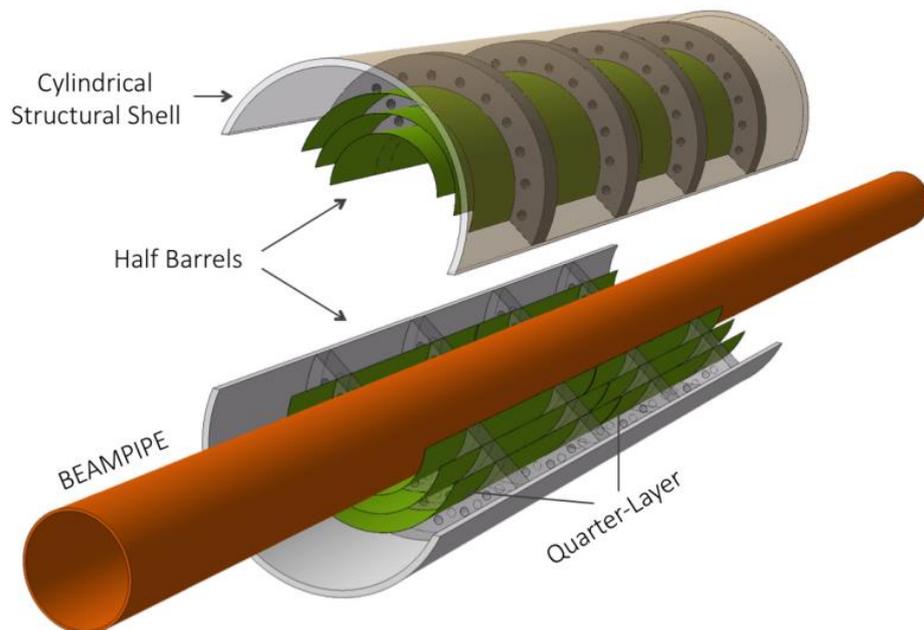


Figure 10 – Scheme of layout for ITS3 IB [8].

In plans ITS3 will still consist of two separate Outer and Inner Barrels. The OB will stay similar to ITS2 and continue to utilize staves, while IB layers will be replaced with completely new stitched sensors. ITS3 IB is planned to be formed with two half-barrels, each of half-barrels will contain three half-layers. These half layer are intended to have truly cylindrical shape achieved with chip bending technologies. Each half-layer will be segmented in two halves called quarter-layers, which consists of single large stitched pixel chip. The scheme of the ITS3 IB is presented in the Fig. 11.

The main supporting components of ITS3 IB are the End-Wheels and the outer Cylindrical Structural Shell (CYSS), which are manufactured with Carbon Fibre Reinforced Plastic (CFRP) materials, and several light half-wheel spacers, inserted between layers to keep the relative distance constant. End-Wheels are connected with CYSS and forms a support structure for all three sensor layers [8].

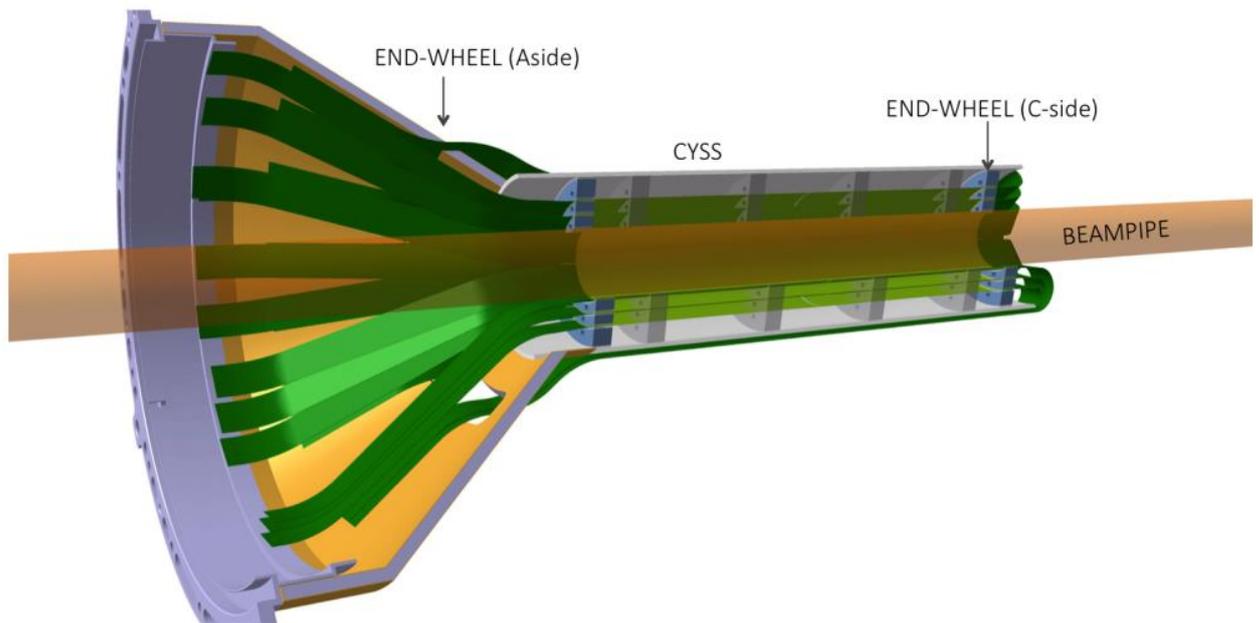


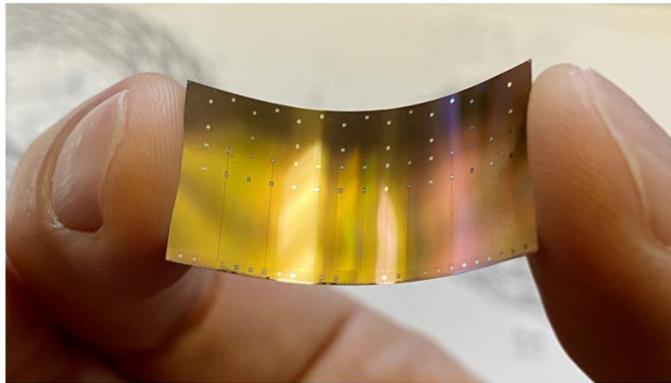
Figure 11 – Scheme of layout for ITS3 IB [8].

The main layout and geometrical parameters for Inner Barrel of ITS3 is presented in table 3.

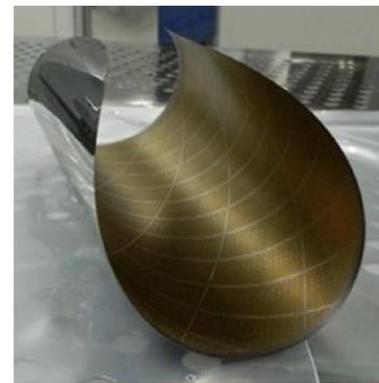
Table 3 – Expected geometrical parameters of ITS3 [16,17]

Inner/outer radius of beampipe, mm	16,0/16,5		
IB Layers parameters	Layer 0	Layer 1	Layer 2
Radial position, mm	18,0	24,0	30,0
Pseudo-rapidity coverage	± 2.5	± 2.3	± 2.0
Active area, cm ²	610	816	1016
Pixel sensors dimensions, mm ²	280×56.5	280×75.5	280×94
Number of pixel sensors	6		
Pixel size, μm^2	30×30		

Bending and warping usually is considered to be negative effect during the work of 50 μm -thick sensors. Experiments on several CMOS chips have proven that bending of thin wafers is possible not only mechanically. But also electrically to achieve the necessary bending radius. 20 μm -thin chips already have been bent to radius o far below 10 mm [17].



a) 50 μm -thick bent ALPIDE chip



b) Detached ALPIDE wafer during the chip thinning process

Figure 12 – Bent sensors from the ITS2 ALPIDE [18].

Cooling is planning to be arranged via laminar flow between IB layers in axial direction. The further wind tunnels tests should be performed to develop an

understanding how to apply to this task mathematical models of Finite Elements and Model (FEM) and Computational Fluid Dynamics (CFD) [18].

Figure 13 and 14 illustrate how the new IB design improves pointing resolution and reconstruction efficiency for low momentum particles with respect to the current ITS2. The ITS3 design improves the pointing resolution by a factor of 2 and extends the reach for track reconstruction down to about 50 MeV.

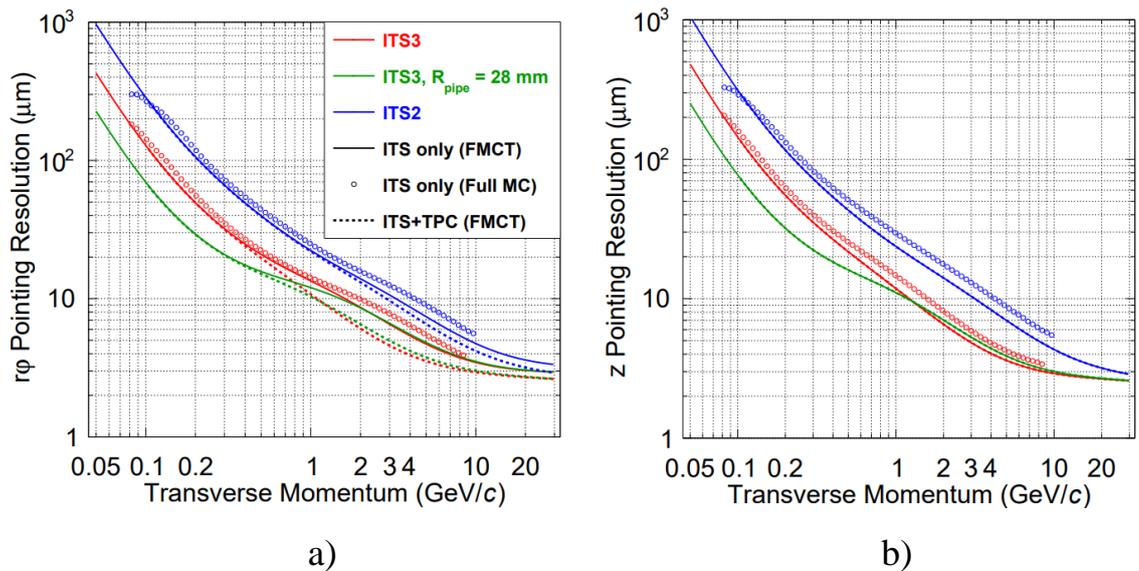


Figure 13 – Pointing resolution in a) transverse plane and in b) the beam pipe direction. Simulation for primary charged pions [8].

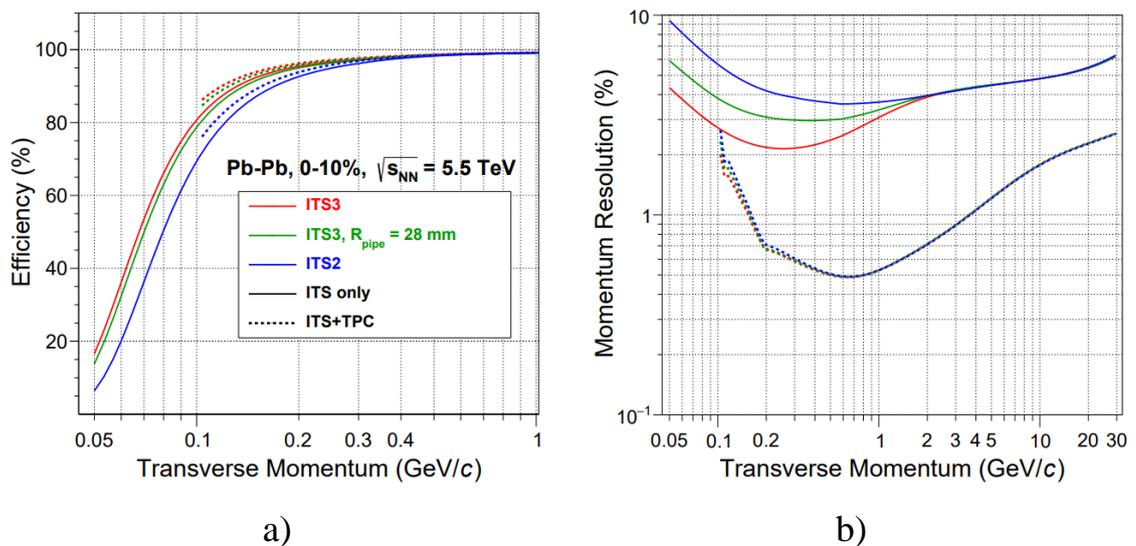


Figure 14 – a) Tracking efficiency in central Pb-Pb collisions and b) transverse momentum relative resolution [8].

1.6 Physical effects in silicon pixel detectors

This thesis deals with two topics which are related to characterization of ALPIDE sensors. The first topic concerns search for channeling effects in ALPIDE sensor and the second topic deals with characterization of ITS2 ALPIDE sensors in terms of fake hit rate and cluster properties . The following sections therefore introduce concept of particle channeling and discuss some basic information about semi-conductor detectors and fake hit rate measurement.

1.6.1 Basic theory of channeling effect

Channeling – is a physical effect of a crystal lattice influence on the trajectories of particles traversing the crystal itself. During channeling the particle is guided along the channels in crystal which are formed by rows and planes of atoms in the crystalline lattice. This effect allows particle to travel inside the crystal across long distances. In case of silicon sensors, which are implemented on single crystal matrix, such effect could problems with trajectory reconstruction and data interpretation.

Channeling of particles occurs if the particle is aligned with a major symmetry direction of a crystal. In such a configuration, atoms are arranged in rows and define "channels" in the electrostatic potential of the lattice through which the particle can easily penetrate.

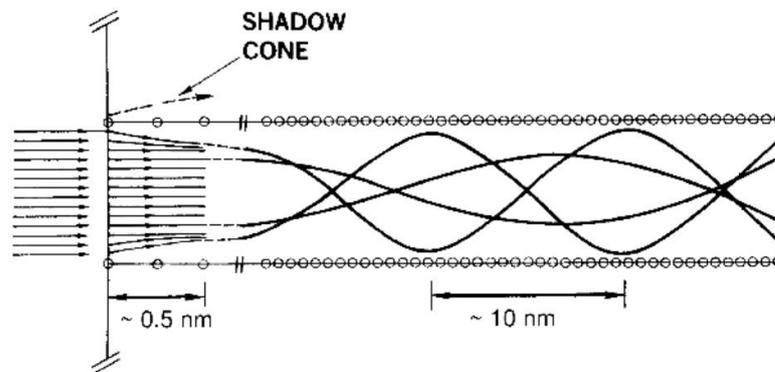


Figure 15 – Scheme of particle trajectories during the channeling [19].

The trajectory of a channeling particle is such that it makes a small angle scattering with axes or planes of the crystal and is being steered by small-angle scattering at distances more than 0,01 nm from the atoms [19].

For description of the channeling particle it is possible to use a continuum model in which nuclear charge of atoms is uniform along the row or plane [19]. Particle-row (plane) interaction could be described with a single continuum potential $U_a(r)$, which represents the value of average atomic potential along the atomic row (plane) with spacing d . In axial case:

$$U_a(r) = \frac{1}{d} \int_{-\infty}^{\infty} V(\sqrt{z^2 + r^2}) dz,$$

where $\tilde{r}^2 = z^2 + r^2$ – is a spherical radial coordinate and $V(\tilde{r})$ is the screened Coulomb potential. The screened Coulomb potential is:

$$V(\tilde{r}) = Z_1 Z_2 e^2 \left(\frac{1}{\tilde{r}} - \frac{1}{\sqrt{\tilde{r}^2 + C^2 a^2}} \right),$$

where C^2 is usually taken as 3 and a is the Thomas-Fermi screening distance:

$$a = \frac{0,885 a_0}{(\sqrt{Z_1} + \sqrt{Z_2})^{2/3}}.$$

Here a_0 – Bohr radius (0,53 Å)

So the mean axial continuum potential will be:

$$U_a(r) = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{d} \ln \left[\left(\frac{Ca}{r} \right)^2 + 1 \right].$$

Magnitude of this potential has the order of atomic potentials. For He ions at $r = 0,01$ nm in Si lattice ($d = 0,384$ nm) the potential is about 223 eV [19].

The critical angle for the channeling effect could be found from the continuum potential and conservation of energy. The total traversing particle energy inside the crystal could be calculated as:

$$E = \frac{p_{||}^2}{2M} + \frac{p_{\perp}^2}{2M} + U_a(r),$$

where $p_{||}$ and p_{\perp} are the parallel and perpendicular components of the momentum with respect to the channel axes.

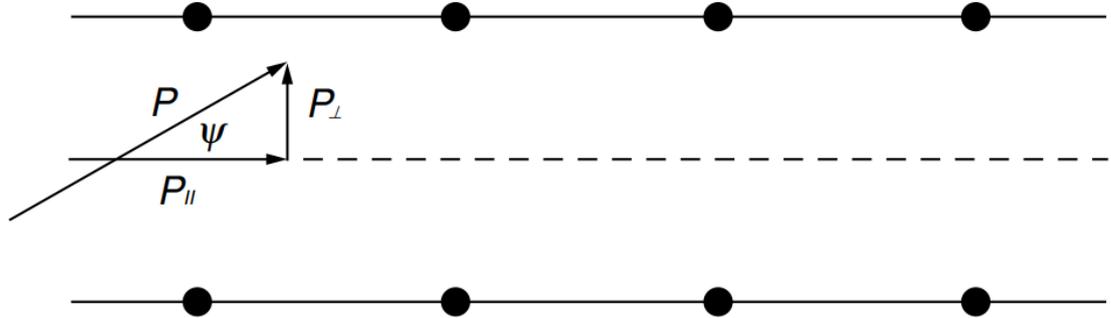


Figure 16 – Parallel and perpendicular components of the traversing particle momentum vector at angle ψ [19]

Therefore,

$$p_{||} = p \cos \psi, p_{\perp} = p \sin \psi,$$

and

$$E = \frac{p^2 \cos^2 \psi}{2M} + \frac{p^2 \sin^2 \psi}{2M} + U_a(r).$$

In a small angle approximation the traverse energy of a particle is:

$$E_{\perp} = \frac{p^2 \psi^2}{2M} + U_a(r),$$

With this approximation the traversing particle energy is conserved since the total energy is conserved. Then the critical angle could be found as:

$$E \psi_c^2 = U(r_{min}) \rightarrow \psi_c = \sqrt{\left(\frac{U(r_{min})}{E}\right)}$$

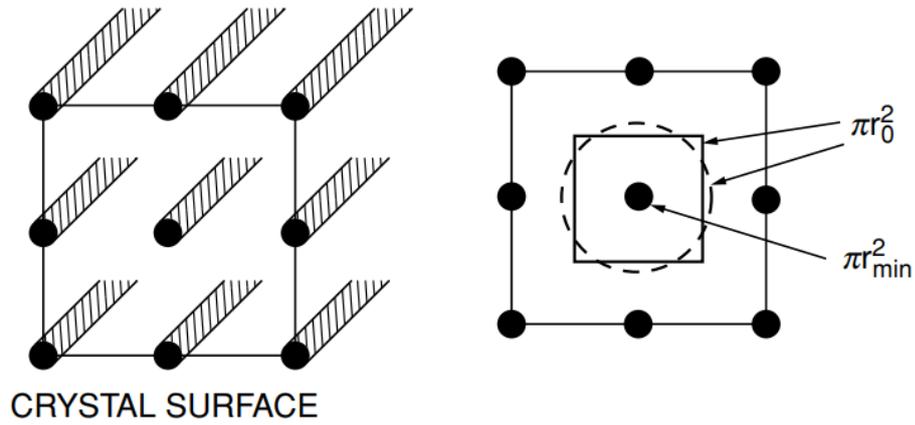


Figure 17 – Ideal crystal with continuous rows of atoms. Around each row of atoms is an area πr_{min}^2 in which particle cannot channel, particles incident at $r > r_{min}$ can channel [19].

The portion of non-channeling particles could be expressed as:

$$\frac{\pi r_{min}^2}{\pi r_0^2},$$

where r_0 is the radius associated with each atomic row defined as:

$$\pi r_0^2 = \frac{1}{Nd},$$

where N – atomic concentration of atoms [19].

As it could be seen from the theory, the channeling effect depends on:

- Incident angle of the particle;
- Particle charge. Positive particle (protons and positive pions) tend to travel longer distances since they are following the direction along row at largest possible distance from crystalline planes, which reduces the probability of interaction with nuclei and dechanneling.
- Particle energy. At low energies the effect is not present since the glancing scattering requires large impact parameters. At low energies the dominating process is particle diffraction on the crystalline lattice. At higher energies quantum effects and particle diffraction is much less probable and the channeling effect becomes possible.

1.6.2 Fake-hit rate

ALPIDE sensor pixels contain the signal processing chain formed by amplifier and signal comparator. The charge comparator provides binary decision whether the charge on input was greater or less than a defined threshold. In case of the ALPIDE sensor the threshold value can be tuned and it is typically set to 100 e, which is significantly larger than typical noise but at the same time smaller than expected signal of a minimum ionizing particle. Threshold corresponding to given sensor setting is measured by means of repeated injections of a given charge to the signal processing chain and determining the probability that it is registered as a hit. Threshold is defined as a mean charge which will pass the with 50% probability. Let us note that the value of the threshold is not sharp but it is smeared with temporal noise.

Due to thermal fluctuations inside the crystal of the chip or fluctuations of the amplifier output signal the accidental crossings of the threshold becomes possible. If the signal amplitude caused not by traversing particle ionization will be higher than the set up threshold on comparator, such crossings could be registered as hit of pixel by traversing particle, therefore this hits have been called as fake hits (Fig. 18).

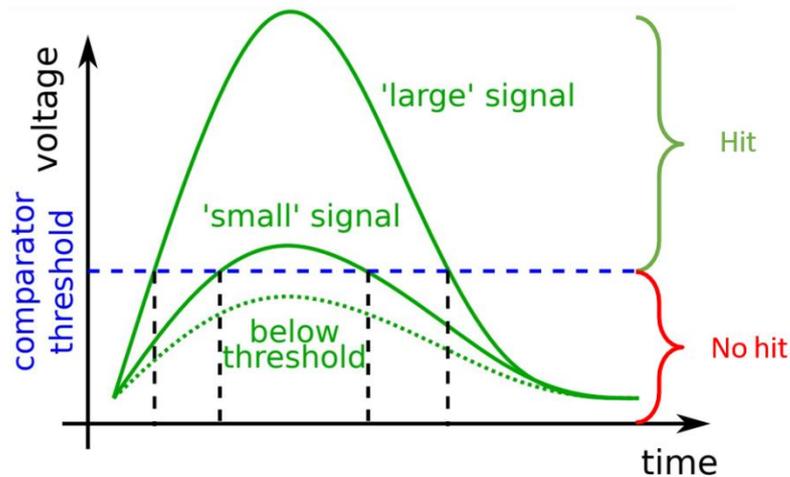


Figure 18 – Illustration of the detection threshold for different signal pulses. Taken from [20]

To characterize the quality of the pixel detector performance the value Fake-Hit Rate (FHR) could be used. It is estimated as:

$$FHR = \frac{N_{Fake-hits}}{N_{pixels} \cdot N_{events}},$$

where $N_{Fake-hits}$ – is the number of registered fake-hits. the number of registered fake-hits , N_{pixels} is the number of pixels in the sensor and N_{events} is the number of recorded events. FHR is measured in standalone runs when the sensor is not irradiated with beam particles. Only then registered hits can be attributed to noise. They could be identified as fake hits in case the timestamps of the hit does not correspond to trigger event.

1.6.3 Clusterization

Depending on the incident point and angle of traversing particle, the particle may create electron-hole pairs in two or more neighboring pixels. Moreover, the charge in adjacent pixel could ‘leak’ to another pixels by lateral diffusion. This effect is called charge sharing. Since several hits could be caused by only one particle, they should be grouped into one cluster. Such clusters of hits are assigned to particles if the hits from the possible clusters have the same of very close timestamps (times of arrival) to event timestamp.

1.7 Quality Control (QC) at CERN

Operation of the ALICE detector needs to be monitored by checking time trends of different parameters and data flow. This task is followed by the Quality Control (QC) group – a group of specialists, who maintain the computing and data transmission systems, which received the same name QC.

1.7.1 O² computing system

Physics goals which has ALICE outlined for Run 3 and Run 4 require, that ALICE will measure all minimum bias collisions in continuous readout mode. It is expected that data flow from the upgraded ALICE detector will be as large as 3.5 TB/s. Handling of such a large data flow required to develop a new Online and Offline Computing system (O²).

To meet the requirements a new Online and Offline Computing system was developed recently. This system provides the continuous readout of all physical interactions, performs data compression by means of partial online reconstruction and calibration and handles sharing of common computing resources during and after data taking [21].

There are two main computing layers:

- 1) the First Level Processors (FLPs);
- 2) the Event Processing Nodes (EPNs).

FLPs are utilizing FPGAs (Field-Programmable Gate Array) in its design and EPNs employ GPUs.

The whole O² software is using multi-processing message-based system. A Data Processing Layer software is developed on base of the FairMQ data transport layer [21].

1.7.2 Data Quality Control architecture

One of the key software components of the O² system is the “Data Quality Control and Assessment” (QC) that replaced the former online Data Quality Monitoring (DQM) [22,23] and offline Quality Assurance (QA) [23,25]. The QC [21] is critical to identify and overcome problems during data taking, to provide good quality data for physics analyses, and to ensure that the data processing behaves as expected, especially when running synchronously with the data taking.

The unification of the online and offline modes of work and discarding of raw input data in favor of reconstructed data, make the need for a reliable data quality control even more essential. The challenge is made greater due to the more than 15 different detector teams involved, the very large amount of data to look after (3.5 TB/s) and the expected number of QC tasks (>100) that are going to run in parallel and produce more than ten thousand unmerged objects per second.

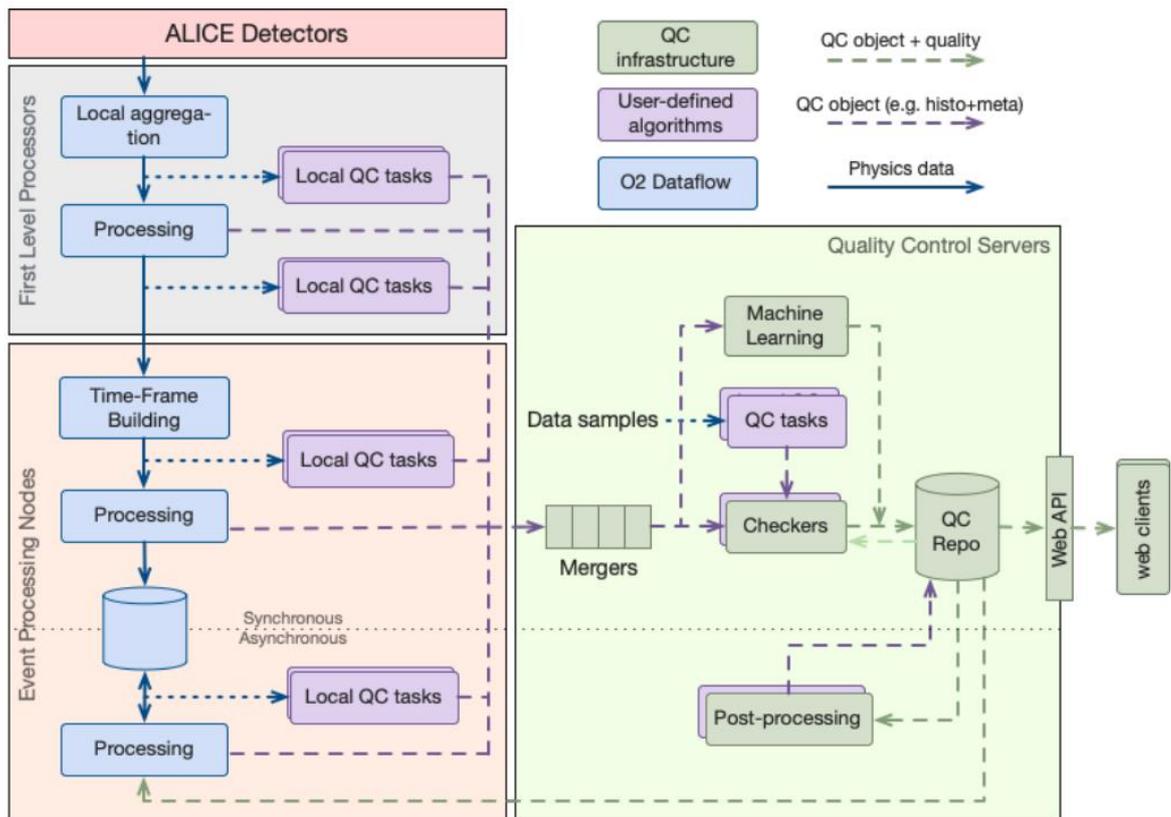


Figure 19 – Scheme of the QC architecture. Taken from [21]

The scheme of the QC architecture is presented on the figure 19. As it could be seen it is split into several parts:

- Data Sampling;
- QC tasks;
- Checkers;
- Post-processing.

1) Data Sampling (blue dotted arrows) is in charge of selecting and distributing data samples which depends on settings and configurations. The Dispatcher, the key

component of the data sampling, runs on every node where data should be sampled. The main features of it are pseudo-random sampling of parallel data flows distributed among several machines, the custom filtering as a plugin system, and available reconfiguration during the process of data taking [21].

2) The QC tasks (purple boxes) execute special algorithms for each types of detector locally on the FLPs and the EPNs or remotely on Quality Control Servers. The typical results of the algorithms are presented in a form of ROOT histograms. Since the tasks runs in multithreading mode, their output should be merged, which is done with special QC functions called Mergers.

3) The Checkers then take care of evaluating the quality of the objects by running user algorithms developed under a common interface. A common set of checks is provided but users can develop their own. In parallel, the usage of Machine Learning is being investigated as a mean to perform a similar evaluation of the QC Objects. Finally, the QC Objects and the quality flags are stored in the QC repository where they are available to shifters and experts. Moreover, a system to aggregate these objects and use them to trigger alarms is planned [21].

4) The Post-processing component includes any task running asynchronously to the main data flow. The main use is the correlation and trending of data derived from QC Objects and Qualities. It is triggered periodically, manually or on certain events (e.g. start of run or end of fill).

5) Once the QC Objects are stored, along with some Quality Objects, shifters and experts use the web-interface QC GUI (QCG) to visualize them. This is a generic user interface for browsing through the list of objects and displaying them. Users can create layouts to save the arrangement of tabs and objects, as well as their display options, and reuse or share them later [21].

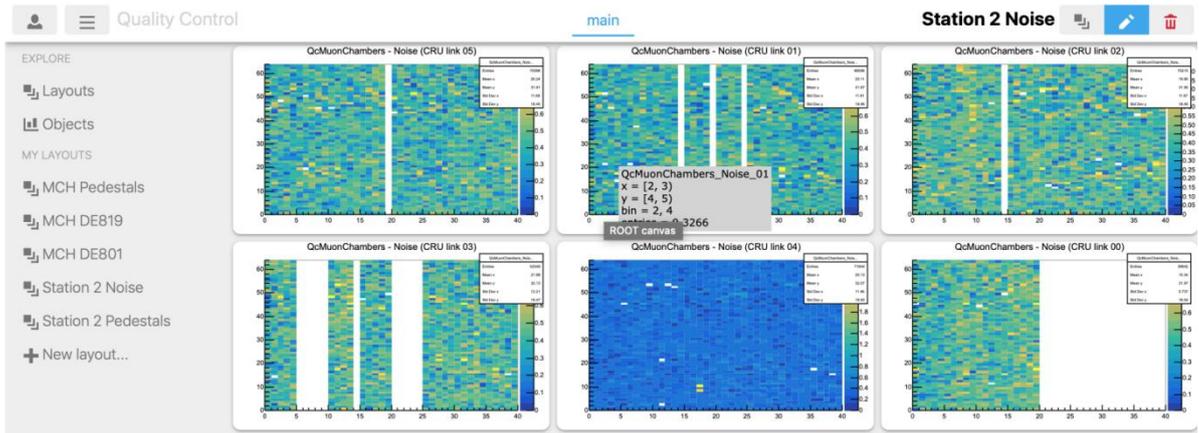


Figure 20 – QC GUI example of pads for noise level of the Muon Chambers [21]

1.7.3 Quality Control data rates

With each step of data processing the data volume is reduced via sampling and replacement by objects with a higher level of abstraction. Figure 21 presents a QC data chain and the steps in data volume reduction.

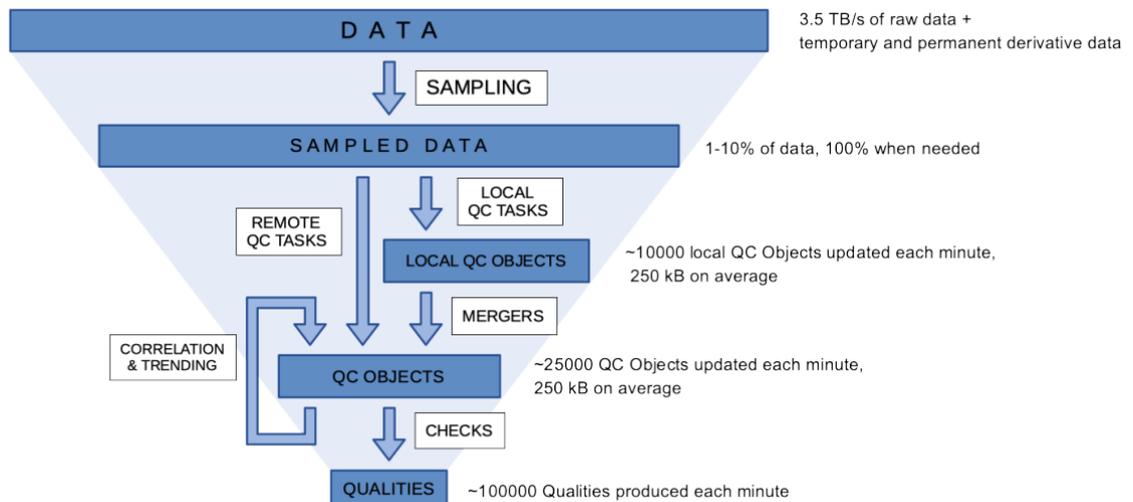


Figure 21 – QC chain and data transmission rates on its steps [21]

The full O^2 system is working with around 3.5 TB/s of raw data as its input. After the first level processing a stream of 635 GB/s reaches the Event Processing Nodes, where it will be further reduced to 100 GB/s as we replace the raw data with reconstructed data.

Some processing steps might generate additional temporary data as well. The granularity of data might differ significantly, starting from 2 MB up to timeframes of a dozen of GBs. That will have a direct influence on message rates in the system. Just one process might produce 7500 messages per second, if we assume 2 MB payloads. QC tasks will usually use between 1% and 10% of messages of different data types and only in a few cases they will require a full stream. An average QC Object might have a size of 250 kB. Out of partial QC Objects produced by QC Tasks, Mergers will have to generate complete versions of 10000 objects each minute. In total, the QC Tasks and Post-processing Tasks are estimated to produce about 25000 complete objects updated each minute. These will be evaluated, resulting in around 100000 objects.

1.8 Corryvreckan

Corryvreckan is a flexible and highly configurable software for reconstruction and analysis of test-beam data measured by telescopes made of silicon sensor planes [27]. It was initially developed in the CLIC Detector & Physics (CLICdp) collaboration at CERN [28]. The software is capable of performing all steps of a test-beam analysis. The example of test-beam telescope is presented in Fig. 22.

Beam telescopes allow to investigate future particle detection sensors (DUT = Device Under Test). Usually DUT is put in the middle of the telescope between reference planes. Reference planes are the detectors which have already been thoroughly characterized and been widely utilized. That allows to compare the collected data from DUT and from reference detectors to investigate characteristics of detector prototypes.

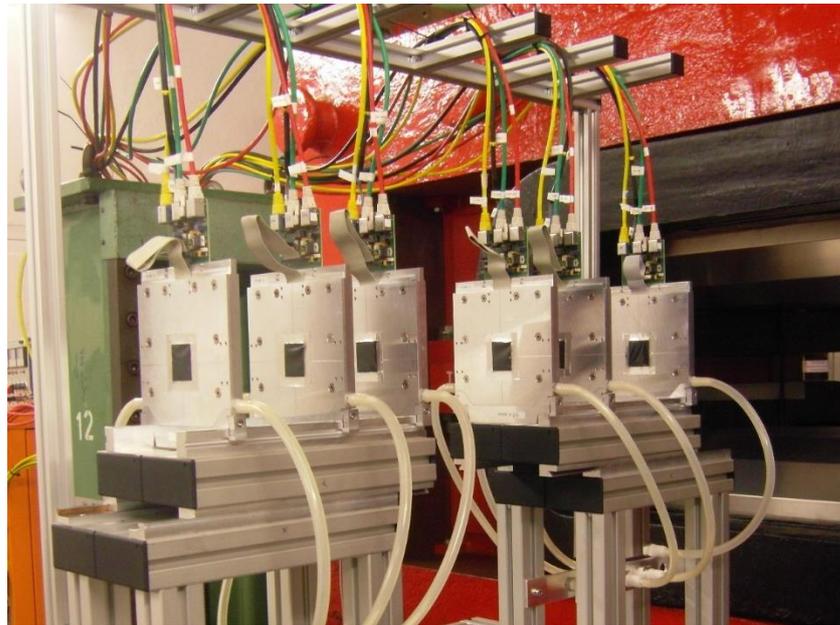


Figure 22 – Example of test-beam telescope in the CERN and DESY based on MIMOSA-26 pixel sensors [29]

The typical scheme of the test-beam setup is presented in Fig 23.

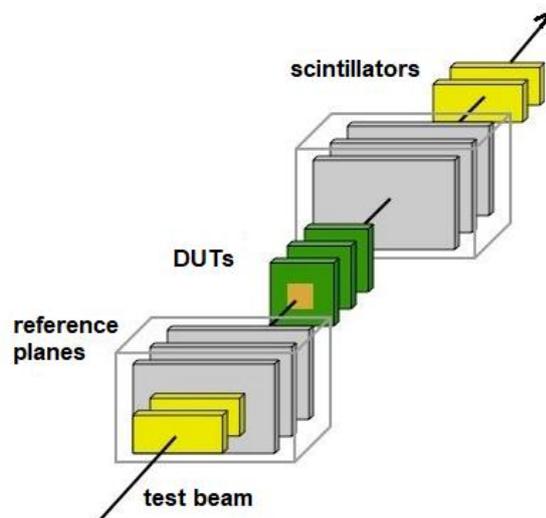


Figure 23 – Typical scheme of the test-beam telescope. Black arrow here represents the test-beam direction; grey boxes – reference planes; green boxes – DUTs; yellow boxes – scintillators, which are used to form a trigger signals. Taken from [30]

Each step of the reconstruction is performed by a dedicated module, which can be configured by the user. An example of the reconstruction chain showing the involved modules in Corryvreckan is presented in Fig. 24.

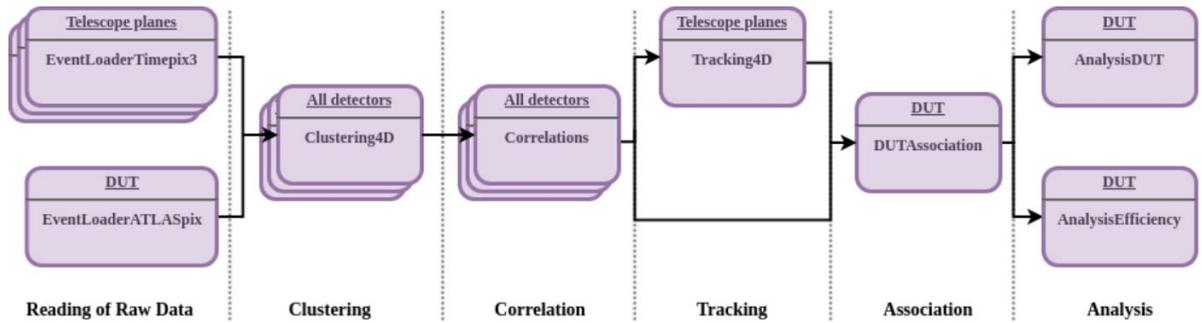


Figure 24 – Corryvreckan steps of reconstruction chain [20]

Corryvreckan is built in a modular way, such that each module performs a separate task such as reading raw data, clusterization or tracking. The main configuration file defines the reconstruction chain by listing all modules to be used and contains all relevant parameters. If a parameter is not specified, its predefined default value is used.

There is a short description of several widely used modules in Corryvreckan, which were also implemented in this work.

1) EventLoaderEUDAQ2

This module is used to read data into Corryvreckan from EUDAQ2 binary files as raw detector data. For each type of detector, the corresponding cinverter module in EUDAQ2 is used to transform the data into “Standard Plane” event type before storing the pixels into Corryvreckan object called clipboard, which contains all the pixels from one plane and events.

For each event, the module algorithm checks for a corresponding event on the clipboard. In case none is available, this event defines the event on the clipboard. Otherwise, it is checked whether or not the current event lies within clipboard event. If yes, the corresponding pixels are added to clipboard for this event. If the current event is earlier than the clipboard one, then the next event is read until a matching event is found. If later, the pointer to this event is kept and it continues with next detector [31].

2) Metronome

The Metronome module is used to slice the data, which is not been divided into the strict events structure, in arbitrarily long time frames for proper work of several further modules. An Event object is created and stored on the clipboard, with the begin and end of the frame calculated.

This module also allows user to add trigger IDs to generated event by specifying the number of triggers to be set per event. Trigger IDs are serial numbers, starting at zero [31].

3) Clustering 4D

The Clustering 4D module performs a clustering for detectors with a valid individual hit timestamps. The method of clusterization is either an arithmetic mean or a charge-weighted center-of-gravity calculation with use of a positional cut and timing cut. In case the pixel information is binary (no valid charge-equivalent information), the arithmetic mean method is used.

Split clusters can be recovered using a larger search radius for a neighboring pixels. This allows to reconstruct clusters with same or very close event timestamps which have a gap between fired pixels (see Fig. 25).

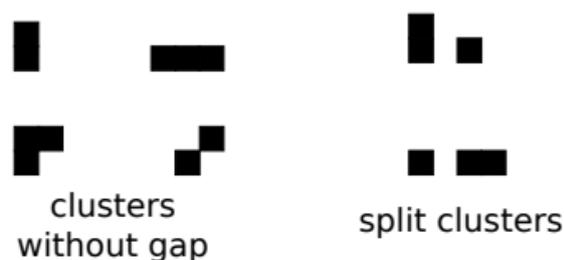


Figure 25 – Example of different clusters with and without a gap [20]

For correct work of Corryvreckan it is necessary to set the main configuration file and geometry file. In configuration file all the necessary for analysis modules are written with set parameters. In geometry file the types of detectors and their relative positions should be set. Also the tilt of the detectors and their misalignment could be set in this file.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Оценка коммерческой ценности разработки является важным условием при поиске источников финансирования для научных исследований. Это не только важный этап научного исследования с целью поиска источников финансирования, но и возможность оценки готовности и перспективности проекта для разработчиков. При помощи такого анализа можно привлечь новых партнеров или же коммерциализировать научную разработку.

Цели данной главы – определение перспективности научного исследования, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации. Рассмотрены следующие задачи:

- Оценка коммерческого потенциала разработки;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования [32].

Данная дипломная работа заключается в исследовании характеристик изогнутых монолитных пиксельных чипов ALPIDE для планируемого улучшения трековой системы ITS3 для эксперимента ALICE. В работе использовалась специальное ПО Corryvreckan [33] для обработки данных, получаемых при облучении телескопа пиксельных детекторов пучком высокоэнергетических заряженных частиц. Также использовался математический пакет CERN ROOT для дальнейшей обработки данных.

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Исследование свойств пиксельных детекторов является важным этапом при проектировке детекторной установки. Основной целью проведенном в работе исследовании является изучение влияния эффекта каналирования частиц в кристаллической решетке пикселей изогнутого детектора ALPIDE. Необходимость исследования обусловлена планами ALICE по созданию новой системы ITS с использованием монокристаллических сенсоров изогнутых в форме полуцилиндра.

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потребитель данной научно-исследовательской работы – коллаборация ALICE, а также иные исследовательские организации, перед которыми стоят сходные задачи.

Для запуска масштабного эксперимента ALICE разрабатываются различные детекторы, состоящие из полупроводников, чувствительных к ионизирующему излучению. Для получения более качественных данных и развитию теории в области физики высоких энергий требуется постоянное улучшение технических показателей детекторов.

Результаты исследования будут использованы ALICE для дальнейшей проектировки новой трековой системы ITS3.

3.1.2 Потенциальные потребители результатов исследования

Реконструкция и обработка данных в результате облучения телескопа направленным пучком заряженных частиц может быть выполнена с помощью

возможностей ПО Corryvreckan и ILCSoft [34]. Также возможно исследование характеристик с использованием собственно разработанного исследователями ПО на языках программирования, создаваемого для каждого конкретного телескопа.

В данной работе рассматриваются три варианта реконструкции данных для исследования характеристик пискельного чипа ALPIDE.

- 1) Использование ПО Corryvreckan, разработанного коллаборацией CLIC;
- 2) Использование ПО ILCSoft, разработанного коллаборацией ILC;
- 3) Создание собственного ПО для обработки данных с помощью языков программирования;

В оценочной таблице сравнены сильные и слабые стороны конкурирующих технических решений.

Сравнительный анализ осуществляется по наиболее важным показателям с помощью экспертной оценки по пятибалльной шкале, где 1 – наихудшая оценка, а 5 – наилучшая оценка соответствия технического решения показателю. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 5 – Оценочная таблица для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Точность реконструкции	0,3	5	4	3	1,5	1,2	0,9
2. Простота использования	0,25	3	3	1	0,75	0,75	0,25
3. Универсальность	0,2	4	2	5	0,8	0,4	1
4. Возможность доработки и настройки ПО	0,15	4	2	5	0,6	0,3	0,75
Экономические критерии оценки эффективности							
5. Срок эксплуатации	0,1	5	3	1	0,5	0,3	0,1
Итого	1	23	21	18	4,15	2,95	3,00

Результаты конкурентного анализа, представленные в таблице 5, позволяют заключить, что наиболее предпочтительный и конкурентоспособный метод – использование Corryvreckan для обработки

данных. ILCSOft менее универсален и используется в основном сотрудниками на линейном ускорителе CLIC, а также более сложен в освоении. Разработка собственного ПО для обработки данных требует значительных затрат времени и является наименее универсальным методом, что не позволяет его эффективно использовать для анализа данных с телескопа при изменении его конфигурации.

3.1.3 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – комплексный анализ научно-исследовательского проекта, проводящийся в несколько этапов. Результаты первого этапа SWOT-анализа, заключающегося в выявлении сильных и слабых сторон проекта, возможностей его развития и угроз, представлены в таблице 6.

Таблица 6 – SWOT-анализ

	Strengths (сильные стороны) S1. Универсальность ПО; S2. Гибкость ПО; S3. Возможность использования любого компьютера в любое время для проведения расчетов; S4. Достаточный объем и высокое качество справочной документации; S5. Интеграция с ROOT.	Weaknesses (слабые стороны) W1. Для работы требуются навыки программирования; W2. При необходимости доработки модулей необходимо глубокое понимание структуры ПО.
Opportunities (возможности) O1. Исследование различных свойств пиксельных сенсоров; O2. Возможность реконструкции треков частиц и широкой обработки экспериментальных данных.	Возможность быстрой реконструкции данных с телескопа детекторов ALPIDE; Получение большого количества точных данных в результате реконструкции; Гибкость настройки позволяет использовать ПО для различных исследовательских телескопов.	Необходима понятная инструкция с описанием типовых ситуаций и ряда базовых принципов программирования и физики; Необходима база экспериментальных данных, к которым может обращаться пользователь.
Threats (угрозы) T1. Использование схожего ПО; T2. Отсутствие графического интерфейса может вызывать сложности у пользователей.	Интеграция ROOT позволяет производить широкую и точную обработку данных с помощью проверенных алгоритмов и получать репрезентативные графики/гистограммы.	Дополнительные модули расширяют возможности ПО; Проведение новых исследований свойств пиксельных детекторов позволяет составить широкую базу данных.

Второй этап заключается в построении интерактивных матриц возможностей и угроз, позволяющих оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации, на основании матрицы SWOT. Соотношения параметров представлены в таблицах 7-10.

Таблица 7 – Интерактивная оценка проекта «Связь сильных сторон с возможностями».

	S1	S2	S3	S4	S5
O1	+	+	+	–	+
O2	+	+	+	+	+

Таблица 8 – Интерактивная оценка проекта «Связь слабых сторон с возможностями».

	O1	O2
W1	+	+
W2	+	+

Таблица 9 – Интерактивная оценка проекта «Связь сильных сторон с угрозами».

	S1	S2	S3	S4	S5
T1	+	+	–	+	+
T2	–	–	–	+	+

Таблица 10 – Интерактивная оценка проекта «Связь слабых сторон с угрозами».

	W1	W2
T1	+	+
T2	–	–

Результаты таблиц 3-6 сведены в единую таблицу 2. В результате SWOT-анализа было выявлено, что работа является перспективной за счет универсальности ПО Corruvreakan и возможности гибкости в изменении его компонентов. Таким образом данное ПО может быть использовано для проведения различных экспериментов с телескопами детекторов. Однако, замечено, что для использования полного функционала Corruvreakan

необходимо хорошее понимание структуры ПО, его компонентов, а также достаточные знания языка программирования C++.

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование призвано обеспечить рациональное использование времени и при формировании научно-исследовательской работы является, несомненно, важным этапом. Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- 1) определение структуры работ в рамках научного исследования;
- 2) определение участников каждой работы;
- 3) установление продолжительности работ;
- 4) построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может составлять от 3 до 15 человек. Для проведения данной исследовательской работы была сформирована рабочая группа, в состав которой вошли: научный руководитель и студент. В данном разделе был составлен перечень этапов и работ по выполнению НИР, который представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
			Студент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	4	Планирование работ по исследованию	Руководитель

Продолжение таблицы 11

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение эксперимента	Руководитель
	6	Получение необработанных экспериментальных данных	Руководитель
			Студент
	7	Внесение изменений в модули ПО Corryvreckan	Студент
	8	Обработка и реконструкция данных в ПО Corryvreckan	Студент
9	Получение результатов моделирования	Студент	
Обобщение и оценка результатов	10	Написание макросов для ROOT и автоматизация обработки данных	Студент
	11	Построение сравнительных гистограмм и графиков	Студент
	12	Оценка полученных результатов	Руководитель
Студент			
Контроль и координирование НИР	13	Контроль качества выполнения работ и консультирование исполнителя	Руководитель
Разработка технической документации и проектирование	14	Составление пояснительной записки к программному коду	Студент

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основные затраты – это трудовые затраты, поэтому в процессе планирования научно-исследовательской работы была учтена трудоемкость для участников исследовательской группы.

Трудоемкость зависит от трудно учитываемых параметров. Иначе говоря, трудоемкость носит вероятностный характер, поэтому может быть выражена в человеко-днях. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.2.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Для наглядного отображения графика проведения работ была использована диаграмма Ганта. Она представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной временной шкале, таким образом каждый отрезок соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи. Построенная диаграмма представлена на рисунке 1.

Для построения диаграммы Ганта, следует перевести длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой 3, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где $k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент, T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{\text{кал}}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 5}{5} = 3.2 \text{ чел-дн.}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} = \frac{3.2}{2} = 1.6 \text{ чел-дн.}$$

Календарный коэффициент для пятидневной рабочей недели студента:

$$k_{\text{кал.ст}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1.48$$

Определение календарной продолжительности выполнения работы:

$$T_{ki.ст} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 1.6 \cdot 1.48 = 2,368 \text{ кал. дн.}$$

Округляя в большую сторону получим 3 календарных дня на данную задачу.

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1.28.$$

Расчет календарной продолжительности выполнения задачи руководителем:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 1.6 \cdot 1.28 = 2.04 \approx 2 \text{ кал.дн.}$$

Результаты расчетов для всех этапов приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Выбор направления исследований	2	3	5	5	3,2	3,8	1,6	1,9	2	3
Подбор и изучение материалов по теме	-	10	-	15	-	12	-	12	-	15
Календарное планирование работ по проведению исследования	1	-	3	-	1,8	-	1,8	-	2	-
Проведение эксперимента	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Получение необработанных экспериментальных данных	2	2	4	4	2,8	2,8	1,4	1,4	2	2
Внесение изменений в модули ПО <i>Соргуврескан</i>	-	10	-	20	-	12	-	14	-	18
Обработка и реконструкция данных в ПО <i>Соргуврескан</i>	-	10	-	15	-	12	-	12	-	15
Получение результатов реконструкции	-	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4
Написание макросов для ROOT и автоматизация обработки данных	-	5	-	15	-	9	-	9	-	12
Построение сравнительных гистограмм и графиков	-	5	-	10	-	7	-	7	-	9

Продолжение таблицы 12

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
Оценка полученных результатов	2	3	3	5	2,4	3,8	1,2	1,9	2	3
Контроль качества выполнения работ и консультирование исполнителя	4	-	6	-	4,8	-	4,8	-	6	-
Составление пояснительной записки к программному коду	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4
Итого	15	52	29	96	20,6	68	16,4	64,4	22	85

На основании полученных данных был построен план-график в виде диаграммы Ганта. График строится с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) во время написания дипломной работы и проведения исследования.



Рисунок 38 – Диаграмма Ганта

Суммарная длительность деятельности каждого исполнителя в календарных днях представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество календарных дней	Количество рабочих дней
Общее количество дней для выполнения работы	80	107
Общее количество дней, в течение которых работал инженер	64	85
Общее количество дней, в течение которых работал руководитель	16	22

3.3 Планирование научно-исследовательских работ

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на основное оборудование для научно-экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

3.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет затрат на оборудование сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения этой работы – персональный компьютер фирмы Lenovo.

Норма амортизации вычисляется по следующей формуле:

$$N_a = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования, измеряемый в годах.

Амортизация оборудования линейным способом рассчитывается следующим образом:

$$A = \frac{N_a \cdot m \cdot N}{365},$$

где N – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Единственным оборудованием, использованным в работе, был ПК Lenovo IdeaPad L340-15ALI, приобретенный в феврале 2021 года за 27999 рублей. Срок полезного использования ПК составляет 5 лет. В итоге общая сумма амортизационных отчислений составила:

$$A_{\text{ПК}} = \frac{0,2 \cdot 27999 \cdot 85}{365} = 1304,1 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений были занесены в таблицу 14.

Таблица 14 – Суммарные затраты амортизационных отчислений

№	Наименование оборудования	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.	Срок полезного использования, лет	Срок пользования в рамках проекта, дн.	Амортизационные отчисления, руб.
1	Lenovo IdeaPad L340-15ALI	43999	5	85	1304,1
Итого:					1304 руб.

3.3.2 Основная заработная плата исполнителей НИИ

Данная статья расходов включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада.

В данном разделе рассчитывается заработная плата студента (как инженера-исследователя) и руководителя (как директора научной лаборатории), помимо этого также были рассчитаны расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью исследовательской работы и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 13).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (таблица 13); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года, для шестидневной рабочей недели $M=10,4$ месяца.

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя) при заработной плате 58 240 руб. [35]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{58240 \cdot 10.4}{252} = 2403,6 \text{ руб.}$$

Таблица 15 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: – выходные дни – праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени: – отпуск – невыходы по болезни	48/5	48/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	252	252

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 16. Заработная плата студента (как для инженера-исследователя без степени) [35] 23 800. Районный коэффициент k_p для г. Томск равен 1,3 [36]. Вычисление $Z_{осн}$ осуществлено с учетом рабочих дней согласно таблице 16.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{тс}$, руб	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	44800	1,3	58240	2403,6	22	52879,2
Студент	23800	1,3	30940	1276,9	85	108536,5
Итого:						161415,7

3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей НИ

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при

предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.) [32] и рассчитывается следующим образом:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты, равный 0,12; $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 17 приведены результаты расчета для основной и дополнительной заработной платы руководителя, и студента

Таблица 17 – Заработная плата исполнителей проекта

Заработная плата	Руководитель	Студент (инженер-исследователь)
Основная зарплата	52879,2	108536,5
Дополнительная зарплата	6345,5	13024,38
Зарплата исполнителя	59224,7	121560,88
Итого: 180785,58 руб.		

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников, определяемые по следующему выражению:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 0,302. Результаты отчислений во внебюджетные фонды представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Студент (инженер)
Основная заработная плата, руб.	52879,2	108536,5
Дополнительная заработная плата, руб.	6345,5	13024,38
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Итого	77110,56	158272,66
Итого по статье: 235382,23 руб.		

3.3.5 Накладные расходы

В данном разделе была рассчитана статья расходов, связанная с затратами на электроэнергию, так как это единственный ресурс, необходимый для проведения данного исследования. Затраты на электроэнергию рассчитываются в соответствии с выражением:

$$C = T_{\text{эл}} \cdot P \cdot t_{\text{об}},$$

где $T_{\text{эл}}$ – тариф на электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч); P – мощность оборудования, кВт; $t_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

Результаты расчета сведены в таблице 19.

Таблица 19 – Затраты на электроэнергию

	Тариф на электроэнергию, руб. за 1 кВт·ч	Мощность оборудования, кВт	Время использования, ч	Итого, руб.
ПК Lenovo IdeaPad L340-15ALI	5,8	0,2	680	788,8
Итого по статье: 788,8 руб				

Все издержки научно-исследовательского проекта были сведены в таблицу 20.

Таблица 20 – Бюджет затрат проекта

№ п/п	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Затраты на оборудование для обработки данных	1304,1
2	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	161415,7
3	Затраты на дополнительной заработной плате исполнителей темы	19369,88
4	Отчисления во внебюджетные фонды	54597,25
5	Накладные расходы	788,8
Бюджет затрат проекта: 237475,7 руб.		

Плановая себестоимость проекта составляет 237475,7 рублей. Так как основная работа была проведена с помощью ПК, то основная статья расходов – эта заработные платы. В проекте не использовалась никакое сырье, кроме электроэнергии для питания ПК.

3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности [32].

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Варианты исполнения научно-исследовательской работы:

1) Основное исполнение: использование средств ПО ROOT для обработки данных. Подобный вариант исполнения позволяет изменять модули *Соргуврескан* для получение дополнительной информации и ее обработки, так как средства ROOT интегрированы в ПО *Соргуврескан* и написаны на одном языке программирования C++, что дает возможность гибко настроить процесс реконструкции данных. В таком случае используется бесплатно распространяемое программное обеспечение, таким образом данная реализация не вносит дополнительных затрат на покупку ПО, поэтому выгодна с экономической точки зрения.

2) Обработка данных может быть выполнена с использованием Microsoft Visual Studio PRO. Среда Microsoft Visual Studio PRO обладает рядом преимуществ: возможность оценки быстродействия программы, удобство компиляции и исполнения программы, а также в отслеживании ошибок и их исправлении. Дополнительно, можно контролировать потребляемую память компьютером. Однако, реализация проекта в среде Microsoft Visual Studio PRO требует установки ОС Microsoft Windows, что увеличивает затраты на 30 тыс. руб.

3) Обработка данных может быть реализована с помощью рабочей среды C++ CLion. Данная среда предоставляет преимущества, схожие с теми, что предоставляет Microsoft Visual Studio PRO, а также качественную техническую поддержку и свободное распространение созданных в ней продуктов. Однако стоимость лицензии на года составляет – 44405 рублей.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{фин}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат

разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Для трех вариантов исполнения научно-исследовательского проекта значения интегрального финансового показателя составили:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{237475,7}{311880,7} = 0,76;$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{237475,7}{267475,7} = 0,89;$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{311880,7}{311880,7} = 1,00.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяется следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

В таблице 21 содержатся бальные оценки и весовые коэффициенты, а также рассчитанные конечные интегральные показатели.

Таблица 21 – Сравнительная характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Контроль качества кода	0.15	3	5	5
2. Простота использования	0.15	2	4	5

Продолжение таблицы 21

3. Возможность интеграции с ПО для реконструкции (Сорруврескан)	0.4	5	2	2
4. Потребление ресурсов компьютера	0.15	4	3	5
5. Доступность справочной документации	0.15	5	2	4
Итого:	1	4,1	2,9	3,65

Интегральный показатель эффективности определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя в соответствии со следующим выражением:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p1}}{I_{\text{фин.}1}}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность исполнения исследовательской работы и выбрать наиболее оптимальный вариант. Результаты оценки показателя эффективности и их сравнение приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,76	0,89	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,1	2,9	3,65
3	Интегральный показатель эффективности	5,4	3,26	3,65
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,6	0,68

Следовательно, текущий вариант исполнения научно-исследовательского проекта наиболее ресурсоэффективен по сравнению с аналогами за счет отсутствия дополнительных расходов, связанных с приобретением ПО и лицензии на его использование. Также возможность интеграции средств ROOT в ПО *Соргуvрескап* является значительным преимуществом в сравнении с остальными вариантами.