

Инженерная инфраструктура детектора ВЭПП – 6

В.С. Бобровников

✉ v.s.bobrovnikov@inp.nsk.su

Совещание по ВЭПП – 2000/ВЭПП – 6

19/12/2025



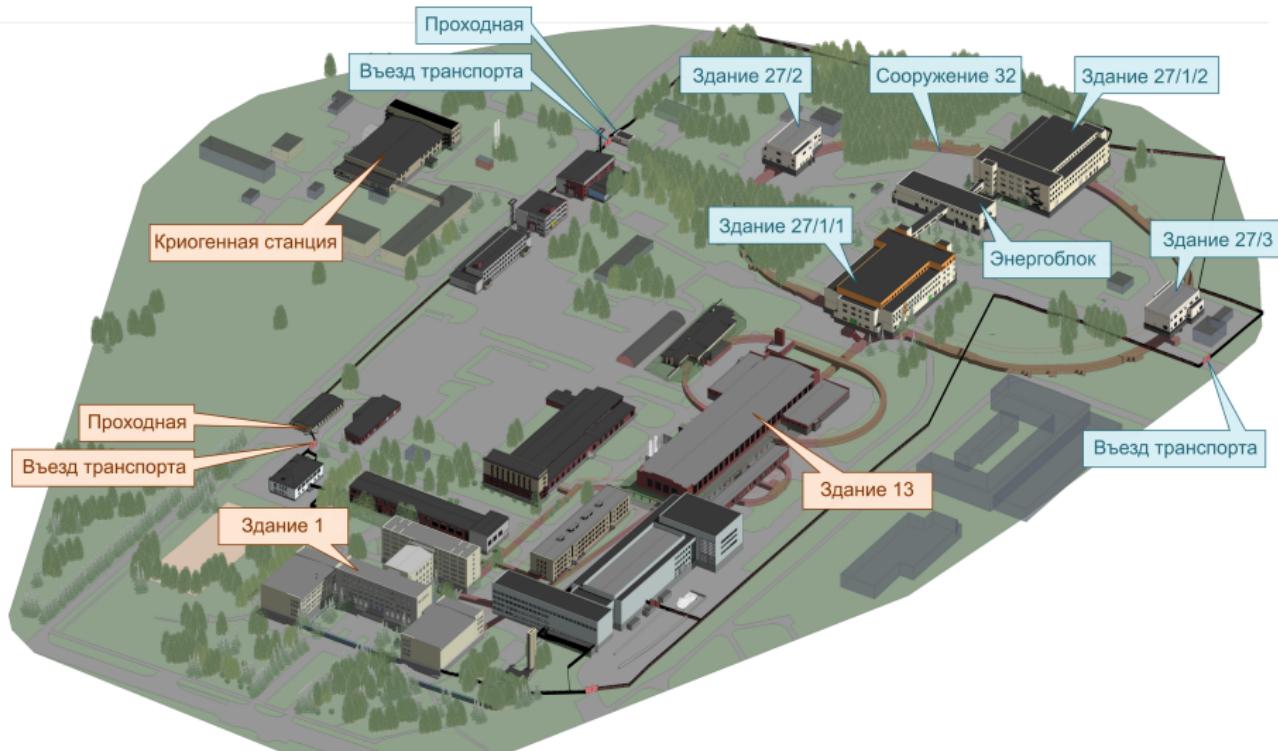


Основные положения принятые при написании текста

- ① Ограничений по финансам нет, поскольку выделенных средств на проект тоже нет
- ② Предполагается реализовать инженерную инфраструктуру детектора ВЭПП-6 ориентируясь на детектор ScTau – фабрики
- ③ Инженерная инфраструктура направлена не только на обеспечение детектора ВЭПП-6, но и на проведение методических работ с прототипами систем для будущих детекторов (например ScTau)



Схема площадки ВЭПП-6



2010–2011 совместная работа ИЯФ СО РАН с «Сибирским институтом "Гипрокоммунводоканал" по проектированию и инженерным изысканиям коммунальных систем водопроводов и канализации»

2012 проектная документация для капитального строительства «КОМПЛЕКСА ВЭПП-5»







1 этап: создание систем детектора

- ➊ Обеспечение необходимых условий для создания систем (производство работ, хранение материалов и т.д.)
 - микроклимат (температура, влажность)
 - подготовка (очистка) воздуха \Leftrightarrow чистые помещения, например, для натяжения ДК
 - локальные вытяжные системы \Leftrightarrow пайка и т.п.
 - подача рабочих газовых смесей \Leftrightarrow стенды, прототипы, системы
 - и так далее и тому подобное
- ➋ Обеспечение транспортировки частей систем (дверные проемы, рельсы и т.д.) и позиционирования компонентов систем на рабочем месте (тали, специальные приспособления)

2 этап: установка систем в детектор

- ➌ Уникальные механические приспособления для безопасной и удобной транспортировки систем/частей в детекторный зал для последующей установки в детектор
- ➍ Обеспечение взаимного размещения систем с соответствующими компонентами (кабели, рабочие газовые трассы, трассы охлаждения и т.п.) внутри ярма детектора

3 этап: эксплуатация детектора

- ➎ Обеспечение подачи электропитания в нужном объеме согласно требуемым параметрам, в том числе защита от кратковременных просадок напряжения ряда чувствительных частей детектора (газовые системы, счетные кластера, дисковые массивы для хранения данных)
- ➏ Отвод тепловой нагрузки с систем детектора
- ➐ Возможность быстрой разборки детектора (1–2 суток) для быстрого ремонта
- ➑ Обеспечение работоспособности (электропитание, охлаждение, газовые смеси) детектора в двух положениях – режим эксперимента и режим сборки/наладки
- ➒ Проведение методических работ с прототипами систем для будущих детекторов



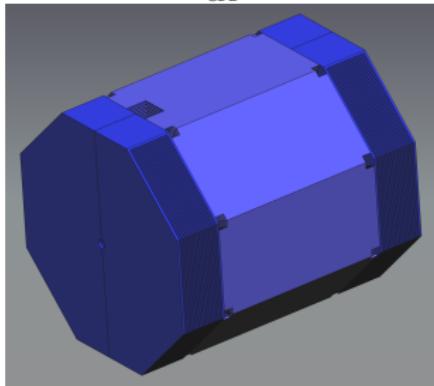
Кратко о задачах возлагаемых на инфраструктуру (инженерию) детектора

Подход к ярму детектора и т.д.

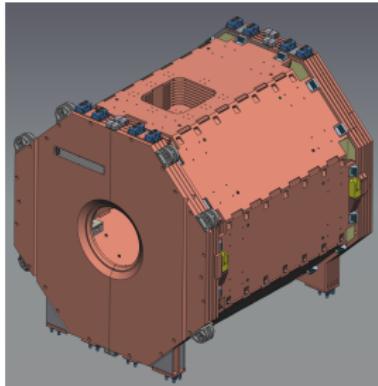
- Как правило делается один раз и далее не меняется на протяжении всего жизненного цикла детектора, следовательно, нужна тщательная проработка конструкции (трассы LVPS & HVPS, охлаждения)
- "Пошаговой" подход развертывания проекта ВЭПП-6 с возможной заменой одних систем на другие (например, калориметр) означает универсальность конструкции ярма с точки зрения установки/выставки разных систем в одну и ту же локацию
- Большая работа в тесном контакте с НКО \Rightarrow нужен "свой" конструктор

Примеры проработки ярма детекторов

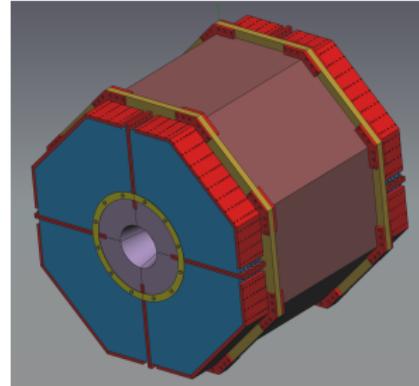
CPD



PANDA



ScTau



Подходящее время для организации взаимодействия с НКО в свете модернизации детекторов СНД и КМД-3

1. Инженерия

Лаборантские (3 этаж)

Инженерия: ГПМ + компрессор СП (1 этаж)

Технологические помещения (1, 2 и 3 этажи)

Антресоль: триgger

Детектор

Антресоль;
питание (LV & HV)

UPS

Маш. зал:
электроника
(1 этаж)

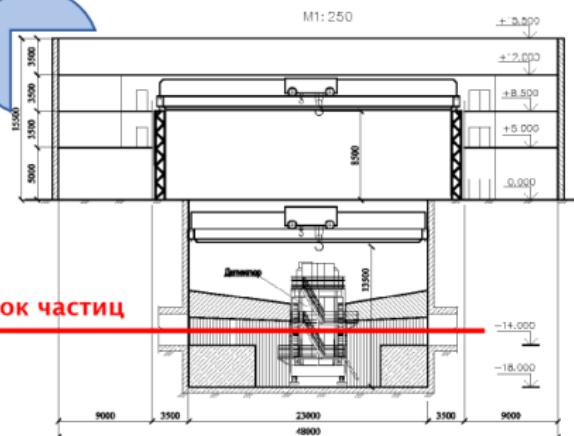
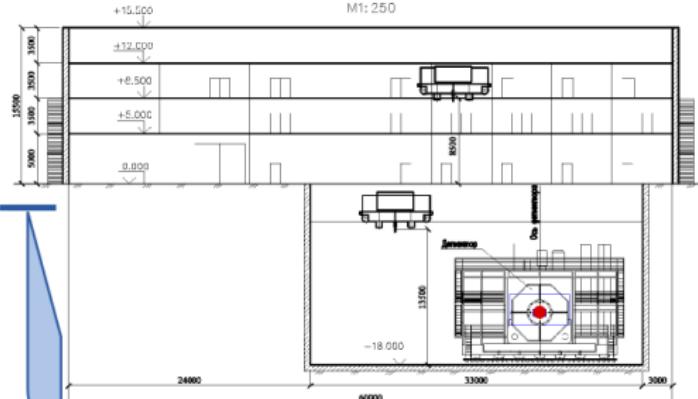
Пультовая (1 этаж)

Офисы
и З этажи)

3. IT - отдел

Длина	60 м
Ширина	48 м
Кол-во этажей	1 + 3 + 1
Глубина детекторного зала	18 м

2. Детекторная яма





1. Инженерия

Технологические помещения

- комнаты для сборки и тестирования систем детектора
- чистые комнаты для сборки внутреннего трекера и координатной системы
- помещения категории "А" для получения и работы с газовыми смесями
- складские помещения для хранения кристаллов, оборудования и т.д.
- мастерские, как общие (станки) так и точной механики
- лаборантские комнаты
- комната для радиогруппы (тестирование и настройка электроники)

Технические помещения

- зал для установки оборудования ввода х/в и г/в, отопления здания
- помещения для размещения вентиляции: общеобменной, технологической, вытяжной и аварийной в зале детектора
- криокомплекс: компрессорная, силовые сборки управления

ГПМ

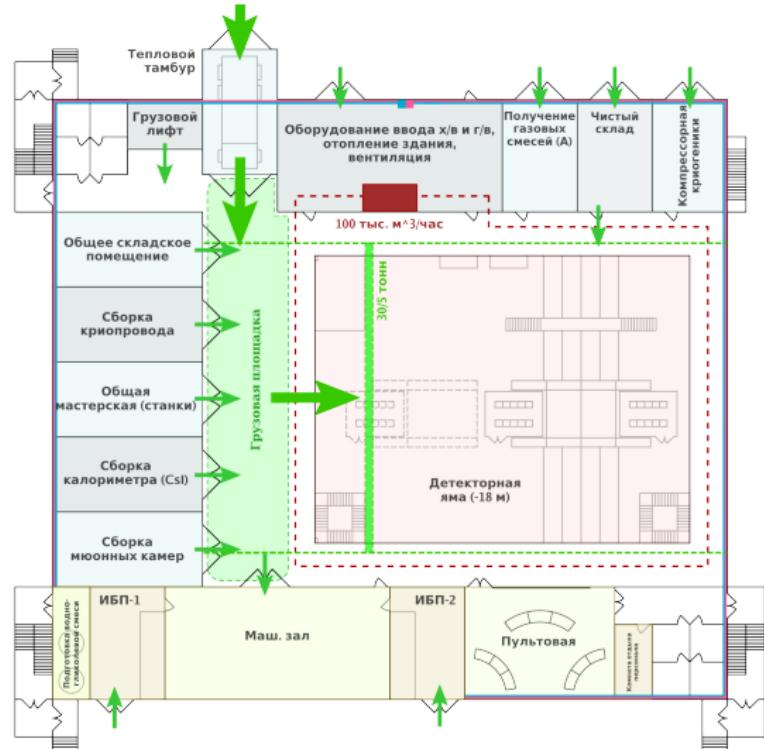
- мостовой кран на 30/5 тонн, в целом грузоподъемность определяется максимальным весом элемента/части детектора (коллайдера)
- кран-балки в нескольких помещениях
- общая разгрузочная площадка (автотранспорт)

3. IT инфраструктура и прочее

2. Детекторный зал

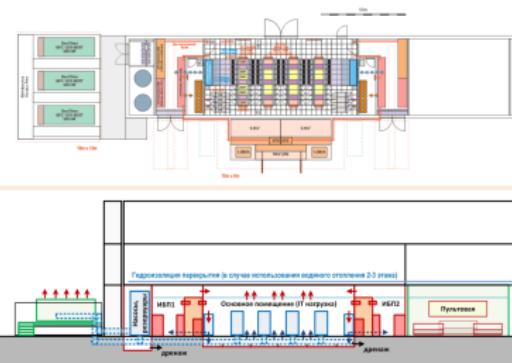
- Сборка и размещение детектора
- Антресоль с обслуживающей электроникой и размещения части криогенного оборудования
- Элементы ускорительной структуры и локальной радиационной защиты

- Зал со стойками электроники: третичный триггер, дисковые массивы для временного хранения и т.п.
- Специальные помещения для ввода электропитания и размещения оборудования автоматического пожаротушения
- Пультовая детектора (+ комната отдыха)
- Ряд помещений для проведения совещаний
- Офисы научных сотрудников



Центр Обработки Данных

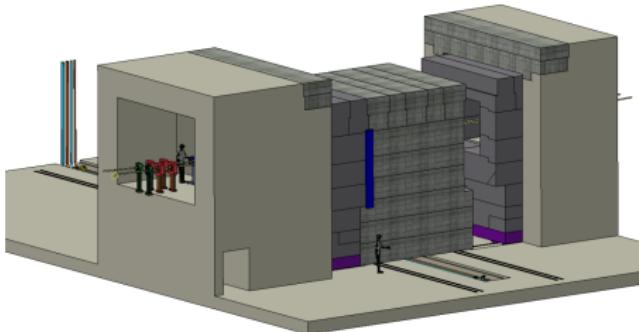
- Две физически независимые площадки, разнесенные на 500 м (машзал в здании детектора + машзал ОВС)
 - Резервирование системы питания и системы управления, резервирование системы охлаждения на обеих площадках
 - Группа специализированных систем ИБП на каждой площадке (использование дизель-генераторов не предполагалось)



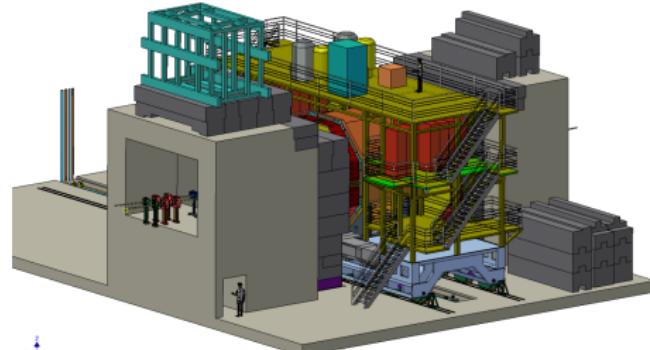


Пример проработки локальной радиационной защиты в зале ScTau (ИЯФ СО РАН)

Локальная защита собрана, коллайдер работает на себя



Детектор в положении на эксперимент



Локальная защита в разрезе



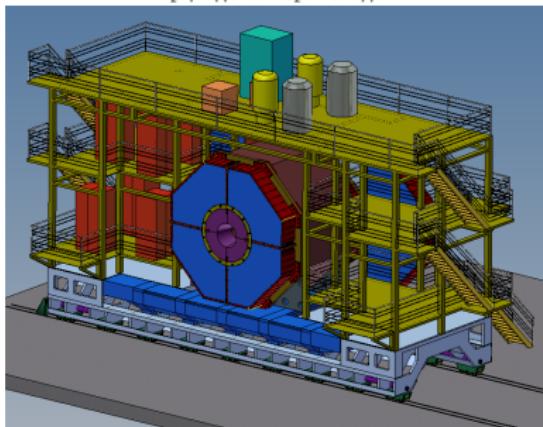
Пример реализации локальной защиты детектора Belle II



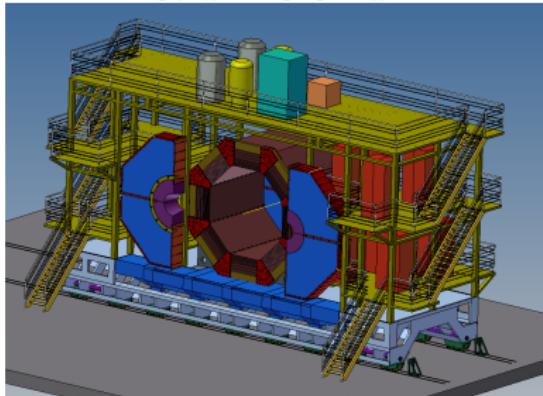


Пример проработки антресоли и детектора ScTau (ИЯФ СО РАН)

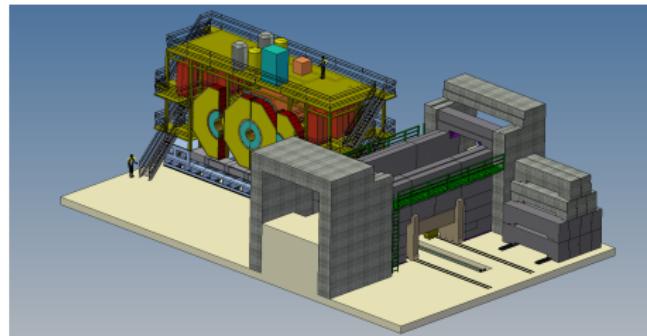
Торцы детектора сведены



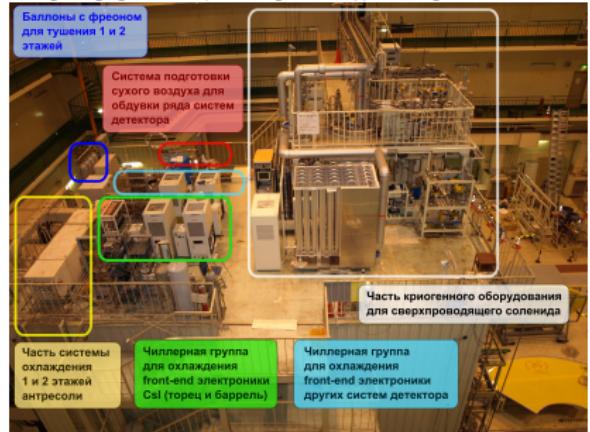
Торцы детектора разведены



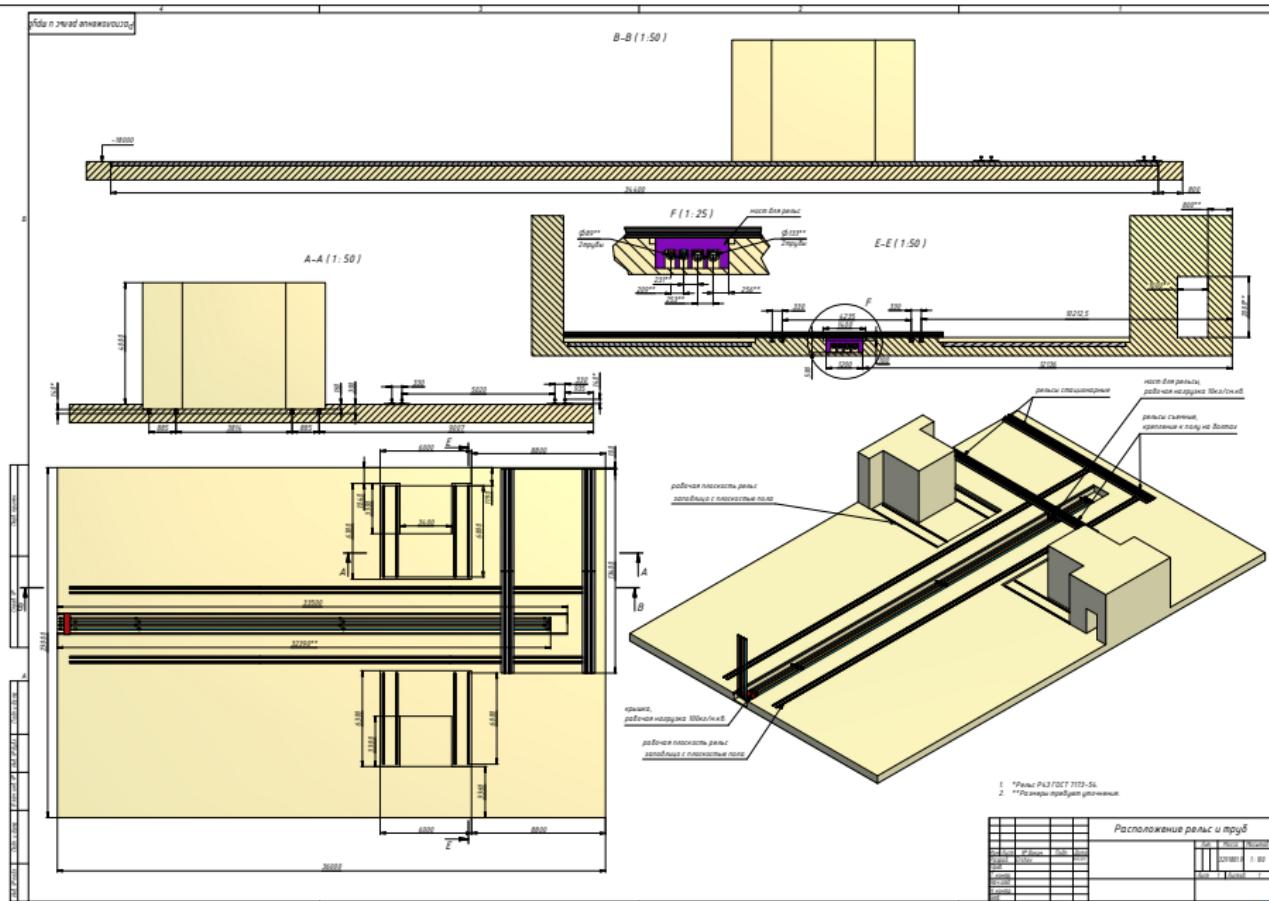
Общий вид на детектор и локальную защиту



Пример реализации антресоли детектора Belle II



Пример проработки перемещения детектора ScTau (ИЯФ СО РАН)





Здание детектора: 2 и 3 этажи

Схема второго этажа (высота 3.5 м)

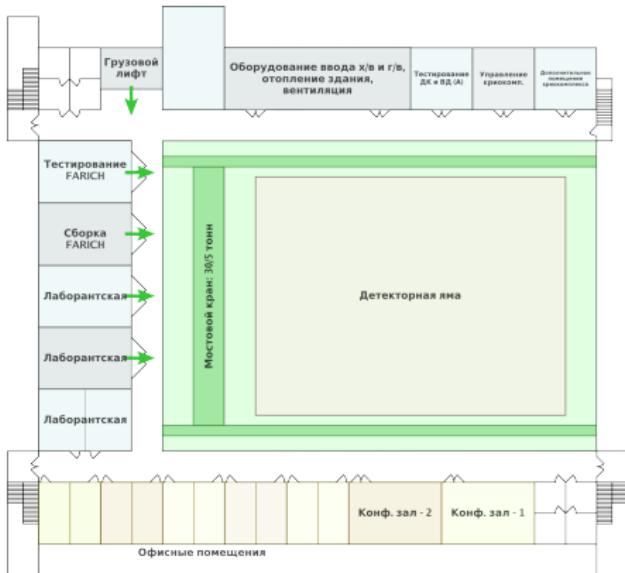
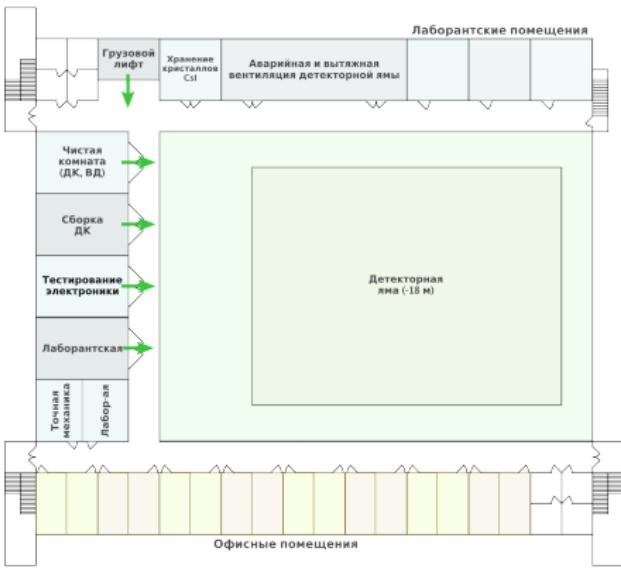


Схема третьего этажа (высота 3.5 м)



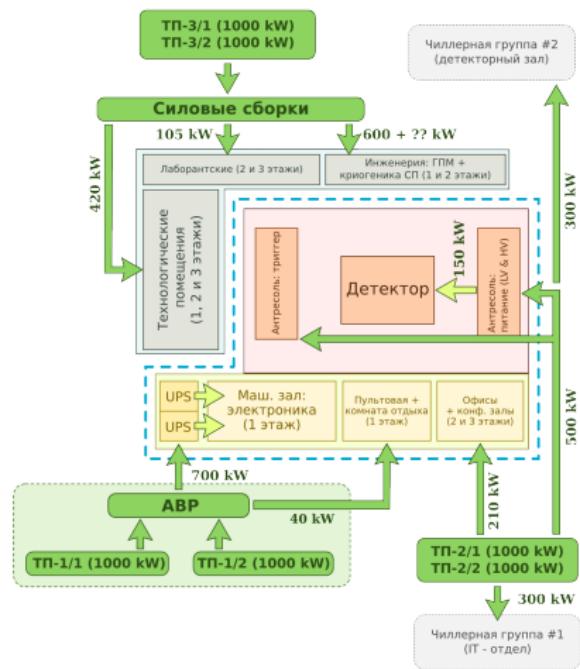
Специфические требования к помещениям зависящие от систем (или выбранного варианта системы)

- нагрузка пол
- микроклимат
- вентиляция приточная и вытяжная
- электрооснаждение
- и т.д. и т.п.



Концептуальная схема электропитания

- Сеть детектора (+ компьютинг) физически разнесена с "бытовой" на уровне отдельных подстанций
- Заземление детектора и антресоли гальванически развязано от металлоконструкций здания
- Реализация бесперебойного питания для части систем детектора на основе мощных промышленных ИБП
- Унификация электроники \Rightarrow унификация LVPS камерной электроники (число каналов электроники является определяющим фактором)



Тип помещения	P [кВт]	Кол-во	Итого [кВт]	K
Технологическое	10 ÷ 30	15	≈ 420	0.5
Лаборантская	15	7	105	0.5
Офис	7	26	≈ 180	0.75
Конф. зал	15	2	30	0.3
Маш. зал	700	1	700	1.0
Пультовая (+ комната отдыха)	40	1	40	1.0
Компрессорная	100	1	100	1.0
– силовые сборки	60	1	60	1.0
– вспомогательное	30	1	30	1.0
Детекторный зал (антресоль)	500	1	500	1.0
Системы коррекции для кол-лайдера	3 ÷ 6		350	1.0
Прочее			≈ 1000	0.5
– общеобменная вентиляция				
– система охлаждения				
– ГПМ, лифты, освещение и т.д.				

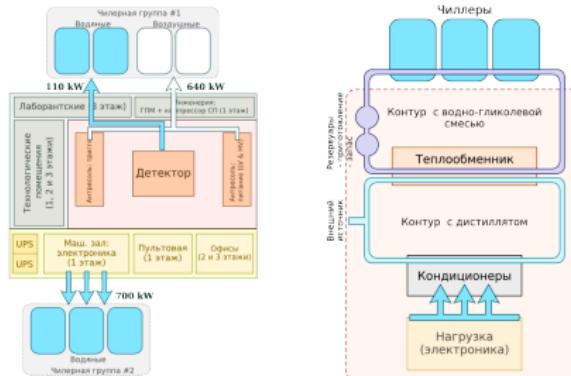
Итого: ≈ 3525 кВт



Концепт охлаждения

- Охлаждение внешнего контура автономной системой на базе водяных чиллеров (лето) и воздушных градирен (зима)
- Отдельный вопрос о выборе давления в трассе охлаждения систем внутри детектора ($P \simeq 4$ атм или $P < 1$ атм)
- Требования на подготовку воздуха в ЦОД
 - $\Delta T = 2^\circ\text{C}$ ($20 - 22^\circ\text{C}$)
 - $\Delta\phi = 10\%$ ($25 - 45\%$)

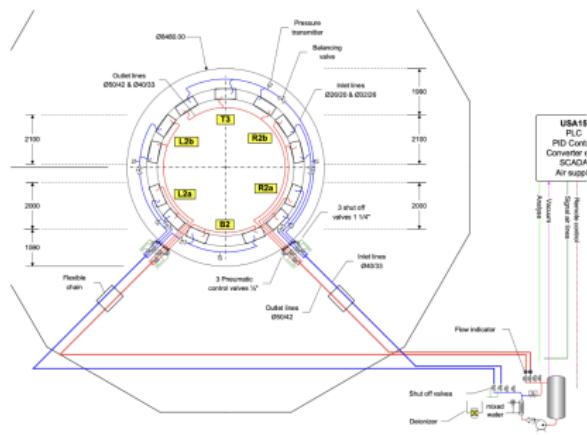
Схемы для детектора ScTau (ИЯФ СО РАН)



Belle II – контур с давлением выше атмосферного



ATLAS – контур с давлением ниже атмосферного





Специализированное питание систем детектора

Высоковольтное питание

- По всей видимости предполагается использовать готовое решение, есть положительный опыт реализации такого подхода на КЕДР

n/n	Система	U [кВ]	I [mA]	Мощность [Вт]	Каналов	Σ мощность [Вт]
1.	VD	+3.0	0.2	0.6	20	12.0
2.	DC	-3.0	0.03	0.09	21	1.9
		-8.0	0.1	0.8	24	19.2
3.	ATC	-3.5	0.11	0.4	160	64.0
4.	ToF	-3.0	1.5	4.5	128	576.0
5.	CsI	-0.5	1.0	0.5	8	4.0
		-1.0	1.0	1.0	8	8.0
6.	LKr	+1.5	0.5	0.75	2	1.5
7.	Mu	+4.5	0.2	0.9	26	23.4
8.	TS	+3.0	0.5	1.5	10	15.0
9.	LM	-3.0	2.0	6.0	42	252.0
Итого:				449	977.0	



Низковольтное питание

- Нужна разработка такой системы с максимально возможной унификацией набора номиналов напряжений
- Как вариант использовать AC/DC или лучше DC/DC преобразователи
- Расположение источников непосредственно около детектора на антресоли



Сотрудничество с китайскими коллегами по линии STCF ?



Что можно сделать прямо сейчас



Реализовать площадку в зд.13 для работ с прототипами систем для детекторов

- На текущий момент сделано (л.3-2)

Мастерская (к.2-42)

- проект вытяжной и приточной вентиляции, как стационарной так и мобильные системы
 - электропроект
 - ремонт помещения находится в завершающей стадии



Остальные помещения (к.к.2-41, 2-41а, 2-46, 2-49)

- проект вытяжной и приточной вентиляции, как стационарной так и мобильные системы
 - предусмотрена чистая комната для работ с дрейфовой камерой
 - электропроект
 - при надлежащем уровне финансирования проект можно реализовать в 2026 году



✓ Озвученный "пошаговый" подход развертывания проекта ВЭПП-6 означет длительный марафон на несколько лет/десятилетий в плане реализации детекторных систем

В свою очередь это означает, что

- Конструкция ярма детектора должна обеспечивать быстрый доступ к системам
- Крайне важно обеспечить возможность параллельной работы коллайдера и детектора на самих себя, особенно на начальном этапе
 - коллайдер – проведение пучка, получение светимости (crab waist)
 - детектор – тестирование систем на космике, настройка ССД и т.д.
- Уже на самом начальном этапе реализации проекта нужно подготовить необходимую инфраструктуру для работ с прототипами и системами детектора, которая будет использоваться длительное время без необходимости ее серьезной модернизации
- Реализация таких установок как тестовые пучки электронов и гамма-квантов (+ быстрые нейтроны \leftrightarrow VITAMIN ?) позволит проводить исследование прототипов систем "на месте"