

сибирский кольцевой источник фотонов

Е.Б. Левичев
ЦКП «СКИФ»/ИЯФ СО РАН



• Лаборатории СИ в мире



Области с высокой концентрацией источников СИ = наиболее технологически развитые регионы мира



Поколения источников СИ:

1. Не спец. (коллайдеры или синхротроны). $\epsilon_x \sim 300-500$ нм (ВЭПП-3, ВЭПП-4, BEPC, DAPHNE)

2. Спец. накопители, несложная оптимизация эмиттанта. $\epsilon_x \sim 20-100$ нм (КИСИ, CAMD, DELTA, SAGA, ANKA, ...)

3. Спец. накопители, эмиттанс оптимизирован, излучение из ондуляторов. $\epsilon_x \sim 1-10$ нм (ALS, ESRF, Diamond, Alba, КИСИ-2...)

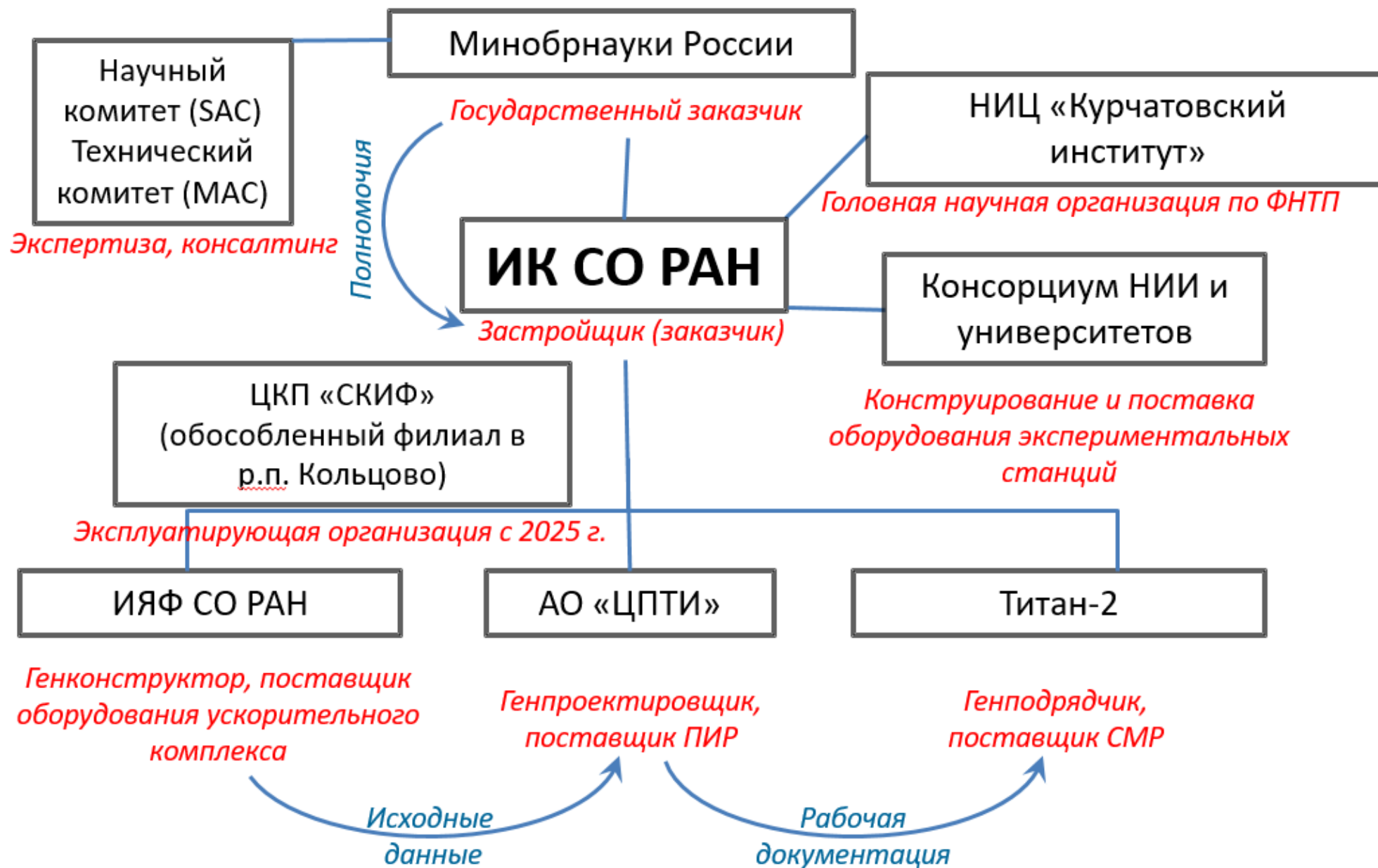
4. Спец. Эмиттанс предельно оптимизирован. $\epsilon_x \sim 500-100 \dots 10$ пм (MAX IV, ESRF-EBD, Sirius, HEPS, SLS2, APSU «СКИФ», СИЛА...).

• СКИФ – начало...

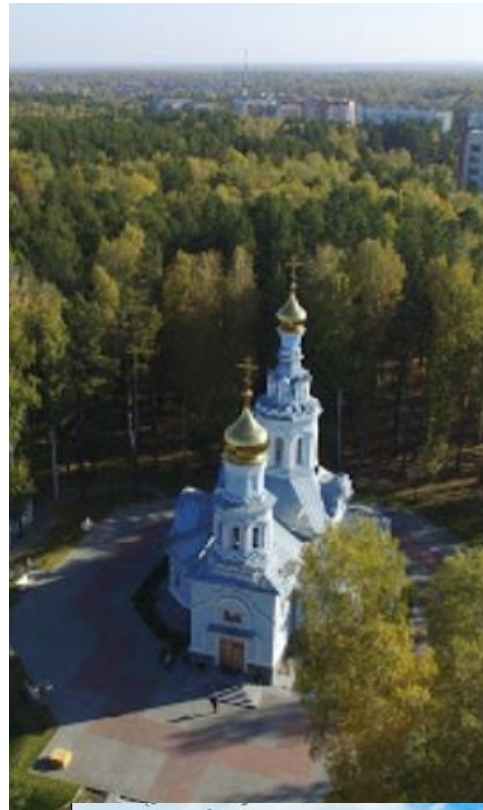


В феврале 2018 г. В.В. Путин утвердил создание в Новосибирске новейшего источника синхротронного излучения ЦКП «СКИФ» (Центр коллективного пользования «Сибирский Кольцевой Источник Фотонов»)

• Организационная структура



• Локация – наукоград Кольцово



Участок земли • Энергетические мощности • Индустриально тихий район (микросейсмика) • Био-технопарк
• ГНЦ «Вектор» • Комфортная среда • Транспортная доступность (Академ, Новосибирск)

• Основные принципы реализации

Заданные сроки и финансы: нет времени на поиск, исследования, пробы и ошибки, непроверенные решения, прототипирование и т.д.

Но...

...Требование рекордных параметров: новые пути и подходы, интенсивные исследования, необычные решения и т.д.

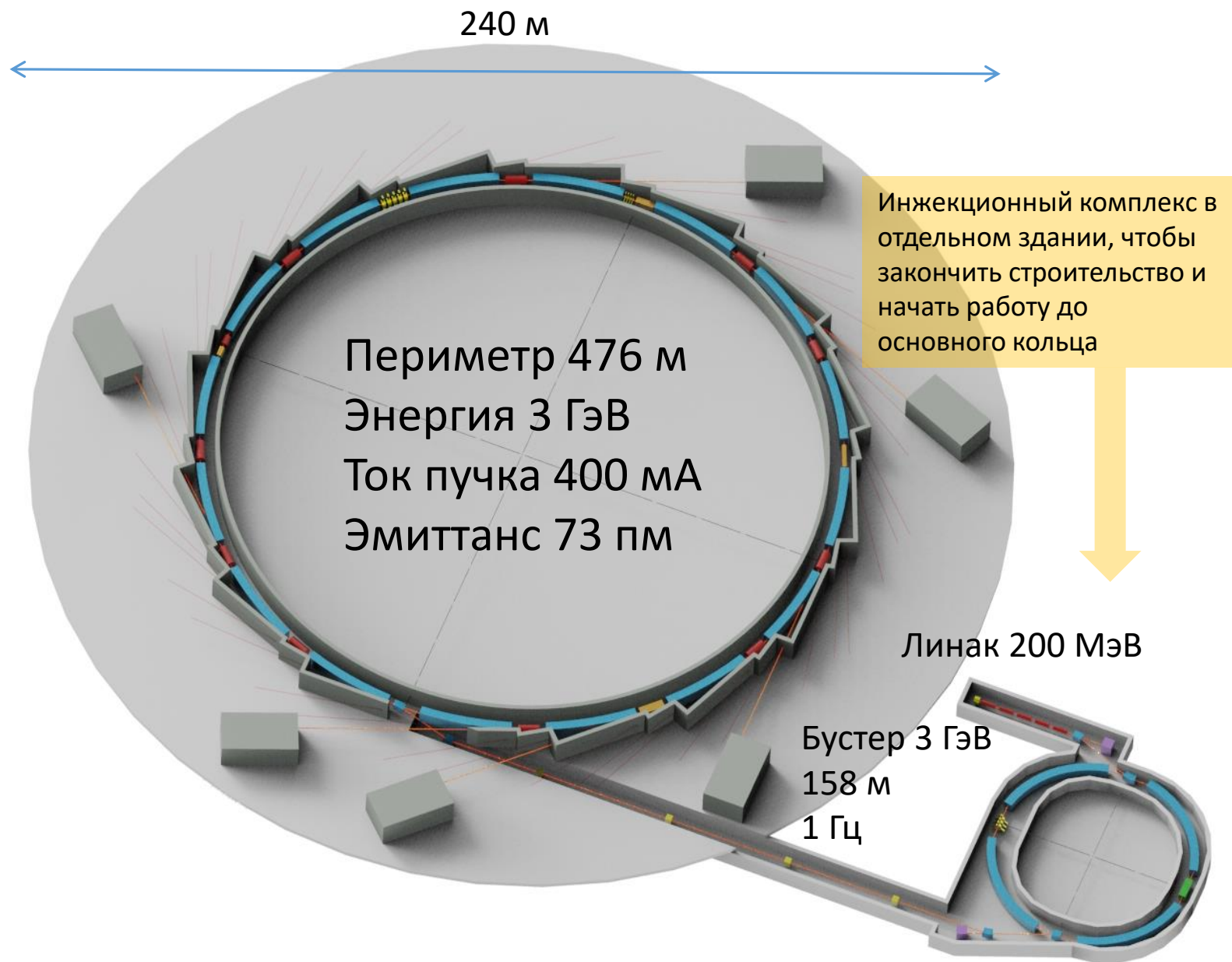
Инжектор (линейный ускоритель и бустерный синхротрон) – копии предыдущих разработок, «мгновенный» запуск производства, «традиционная» инжекция, сверхпроводящие вигглеры и ондуляторы и т.д.

Но...

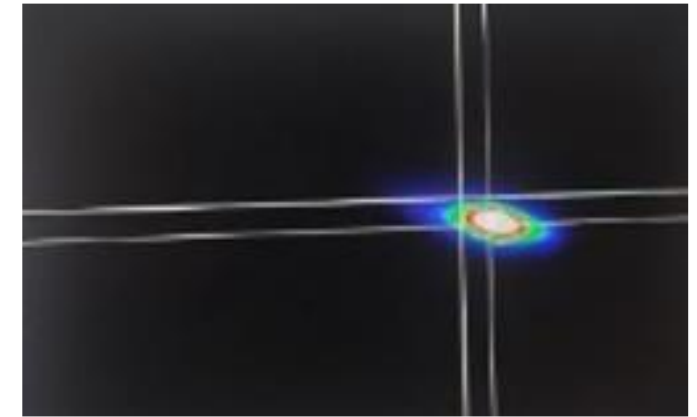
...Оптимизированная структура, магниты с обратной кривизной, разработка новых резонаторов с подавлением высших мод, постоянные магниты и т.д.

• Основные характеристики

- Линейный ускоритель с энергией 200 МэВ
- Бустерный синхротрон с энергией 3 ГэВ и периметром 158.7 м
- Электронное накопительное кольцо с энергией 3 ГэВ, 16 промежутков \times 6 м, 476 м периметр, эмиттанс 73.2 пм
- До 46 каналов вывода СИ

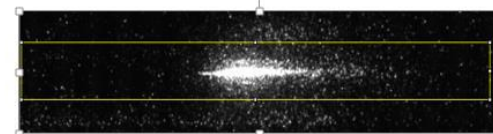
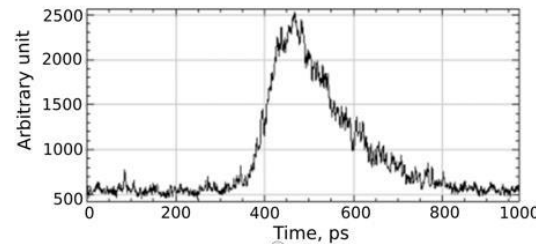


• Лине́йный ускоритель

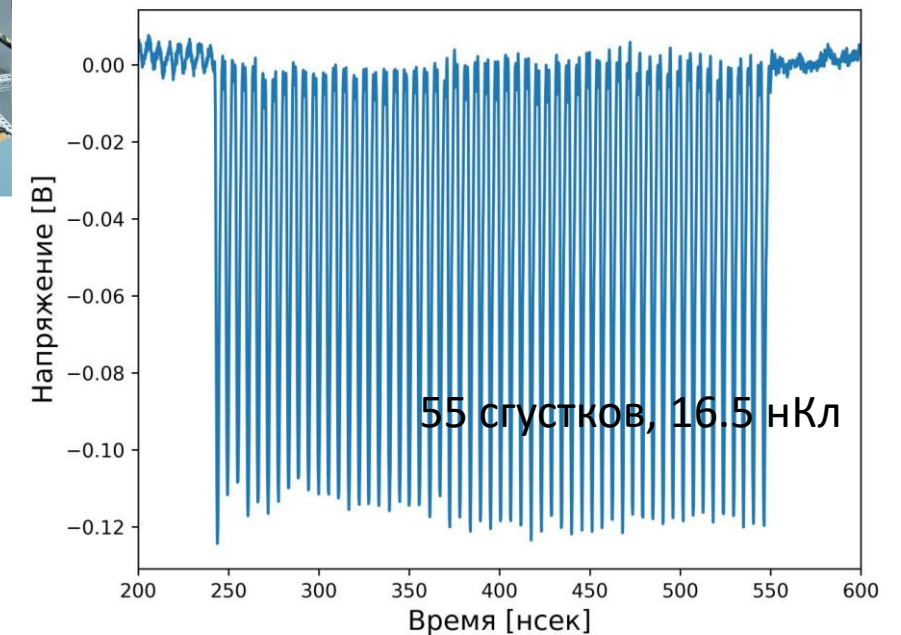


Первый пучок из линака.

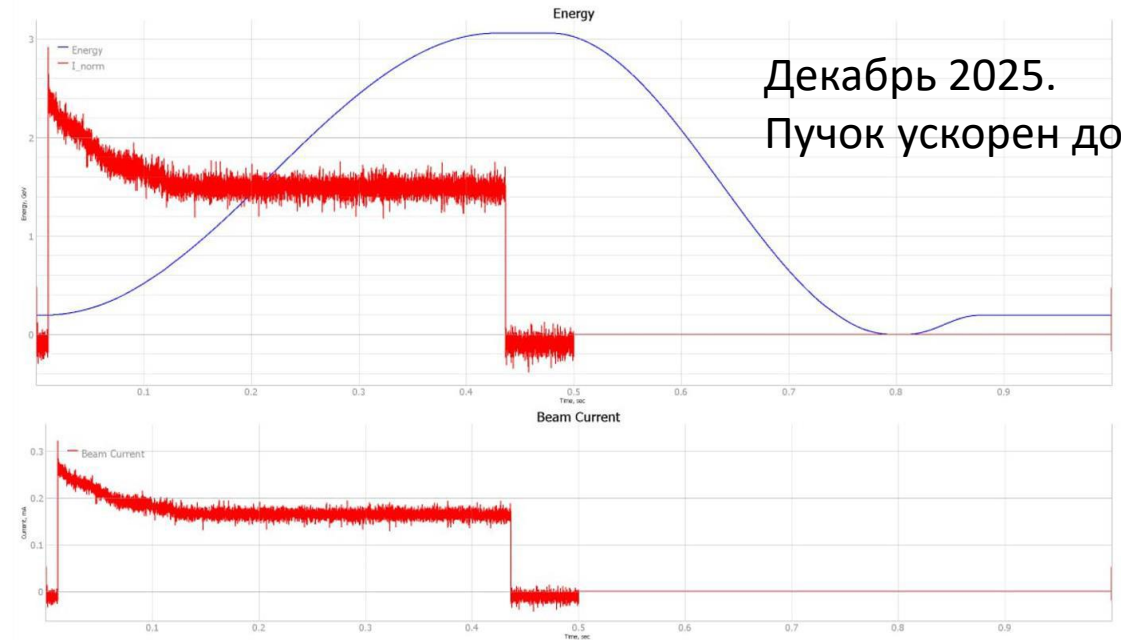
Энергия электронов	200 МэВ
Максимальная энергия	210 МэВ
Частота выстрелов	1 Гц
Геометр.эмиттанс на 200 МэВ	150 нм
Разброс по энергии на 200 МэВ	$\leq 1\%$ (rms)



Измерение длины сгустка

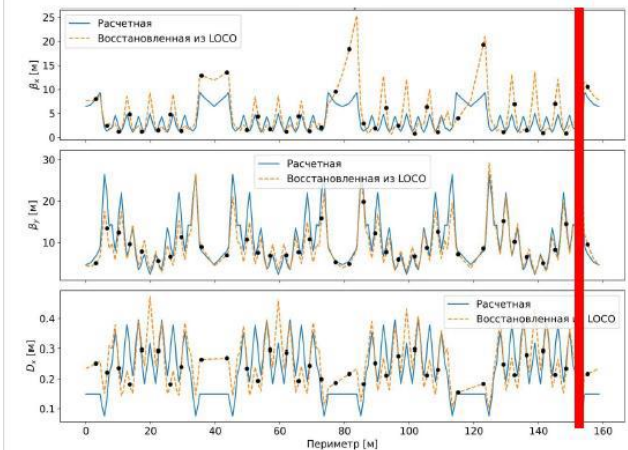
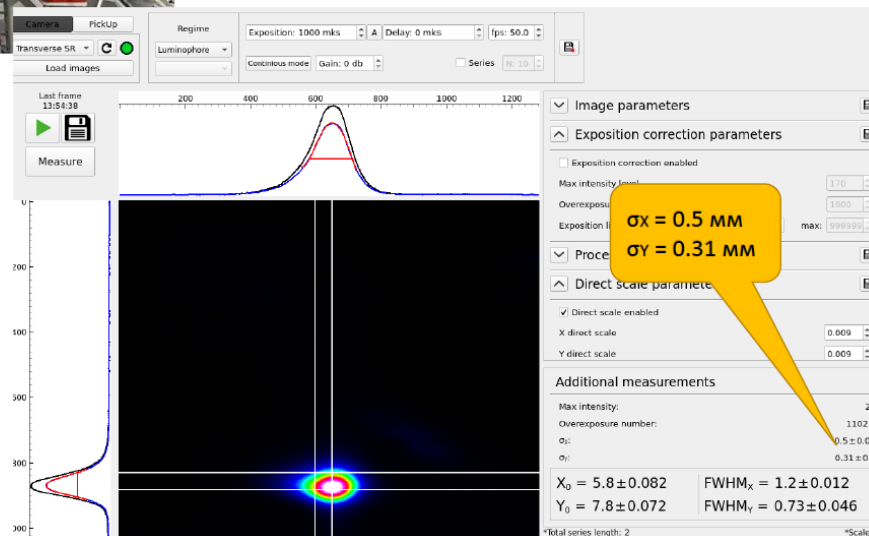


• Бустерный синхротрон



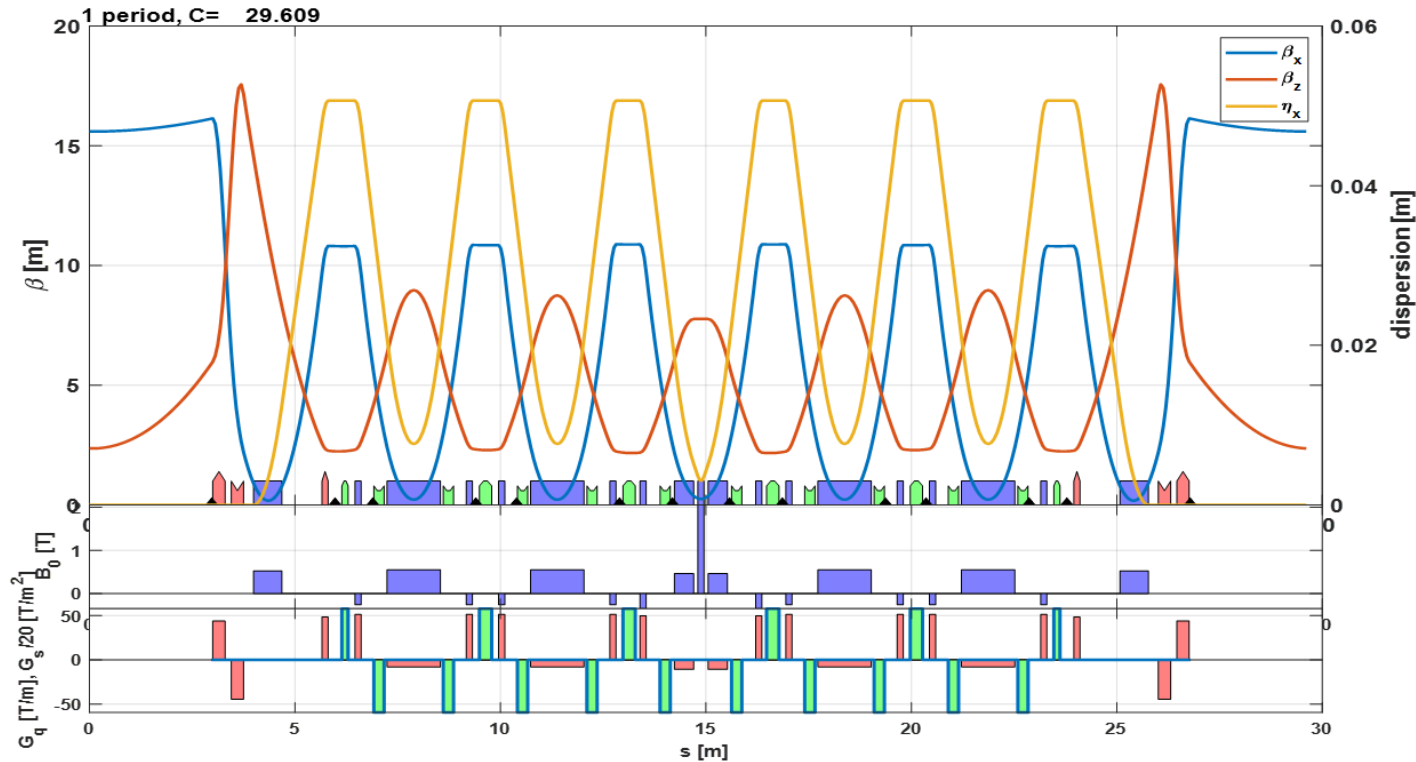
Декабрь 2025.
Пучок ускорен до 3 ГэВ.

Энергия, ГэВ	0.2	3
Длина окружности, м	158.71	
Коэфф.уплотнения орбит $\alpha \times 10^3$	8.81	
Частота ВЧ-системы, МГц	357	
Амплитуда ускор.напряжения, МВ	0.2	1.2
Горизонтальный эмиттанс ϵ_x , нм	0.166	37.4
Разброс энергии $\sigma_E/E \times 10^4$	0.55	8.31
Продольный размер пучка, мм	0.76	19.8
Потери энергии за оборот, U_0 , кэВ	0.0135	685.8
Времена затухания τ_x/τ_s , мс	$15.6/7.8 \times 10^3$	4.62/2.32



$\epsilon_x = 40 \text{ нм}$
 $\epsilon_y/\epsilon_x = 10\%$

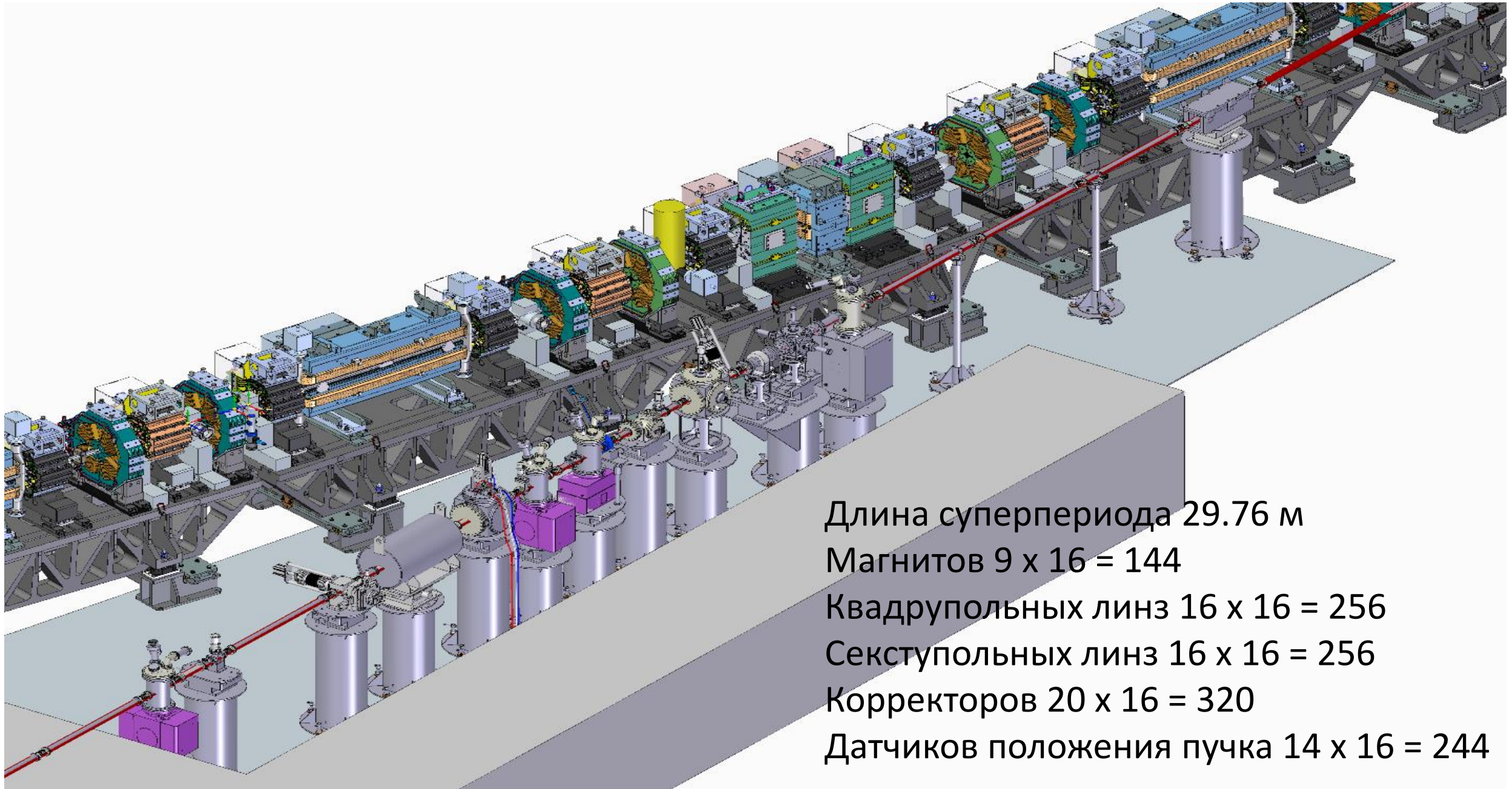
• Накопительное кольцо



- Поле в регулярных магнитах 0.55 Т
- Поле в центральном магните 2.05 Т
- Впервые используются магниты с обратным углом поворота для оптимизации эмиттанса
- Всего два семейства секступольных линз
- Нет магнитов со сложной конфигурацией (октупольных, с продольной вариацией поля и т.д.)

Энергия, ГэВ	3
Симметрия	16
Период, м	476.14
Период обращения, мкс	1.588
Гор. эмиттанс, пм	73.2
Энергетический разброс	1×10^{-3}
Потери за оборот, кэВ	536
Бетатронные частоты, x/y	50.806/18.84
Коэф. уплотнения орбиты	7.64×10^{-5}
Хроматизм, x/y	-149/-55
Кратность ВЧ	567
Частота ВЧ, МГц	357
Амплитуда ВЧ, МВ	0.77
Энергетический акцептанс	$\pm 3\%$
Синхротронная частота	1.13×10^{-3}
Длина пучка, мм	5.3
Декременты затухания, x/δ	1.94/1.06
Времена затухания, x/δ мс	9.2/16.7

• Модель 1/16 кольца (суперпериод)



Длина суперпериода 29.76 м

Магнитов $9 \times 16 = 144$

Квадрупольных линз $16 \times 16 = 256$

Секступольных линз $16 \times 16 = 256$

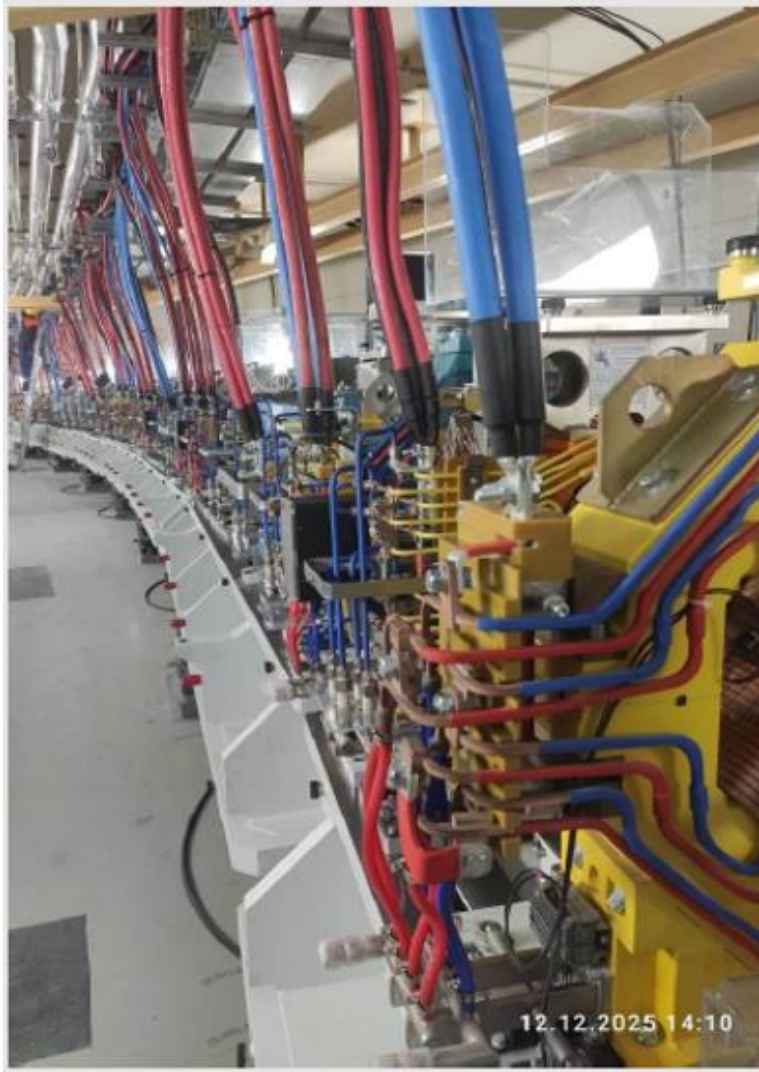
Корректоров $20 \times 16 = 320$

Датчиков положения пучка $14 \times 16 = 224$

• Сборка накопителя



12/11/2025



12.12.2025 14:10



12.12.2025 14:23



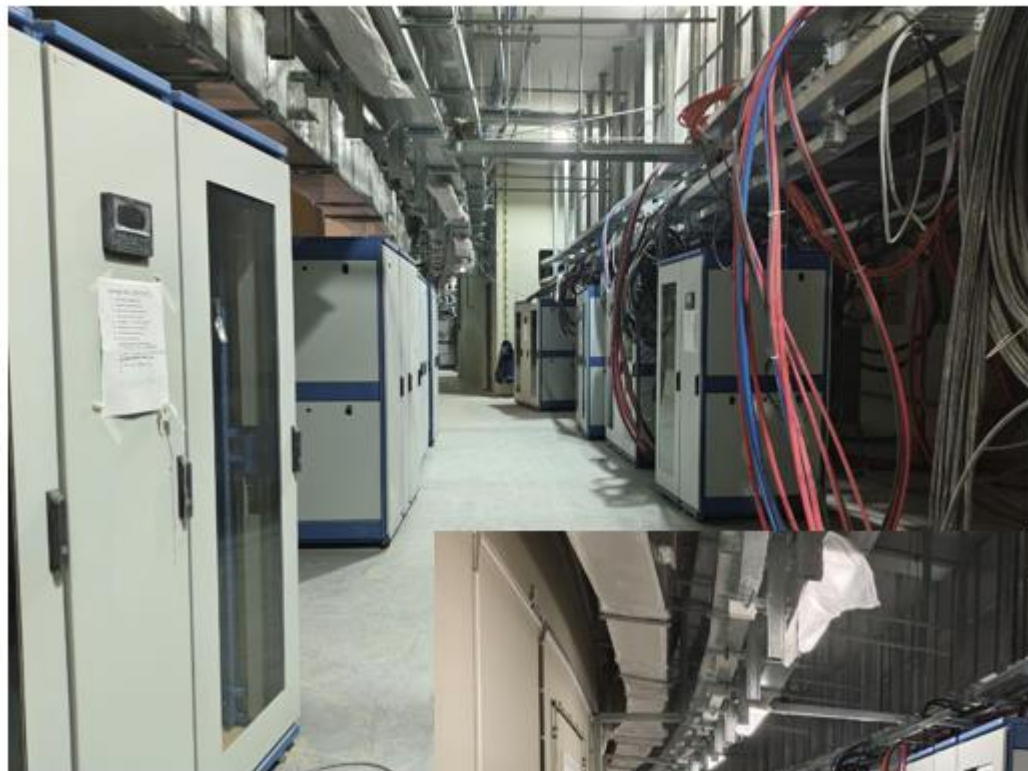
12.12.2025 14:22

12/12/2025

• Генераторы излучения (вигглеры и ондуляторы)



- Сервисная зона – источники питания, электроника



• Приемка накопителя



Комиссией установлено:

- Параметры оборудования позволяют получить стабильный электронный пучок с ультрамалым эмиттансом.
- Параметры оборудования позволяют получить пучок с энергией 3 ГэВ.
- ЦКП «СКИФ» соответствует заданным параметрам.

Центр коллективного пользования «Сибирский кольцевой источник фотонов (источник синхротронного излучения поколения 4+) (ЦКП «СКИФ») соответствует заданным параметрам.

Сопредседатели Комиссии:

А.Е. Благов

С.Н. Калмыков

Г.В. Трубников

Члены Комиссии:

В.И. Бухтияров

С.В. Вохмаков

Е.Б. Левичев

М.В. Либанов

Н.В. Марченков

М.Ю. Пресняков

Е.М. Сыресин

В.И. Шевченко

А.П. Шкуринов

И.А. Рубцов

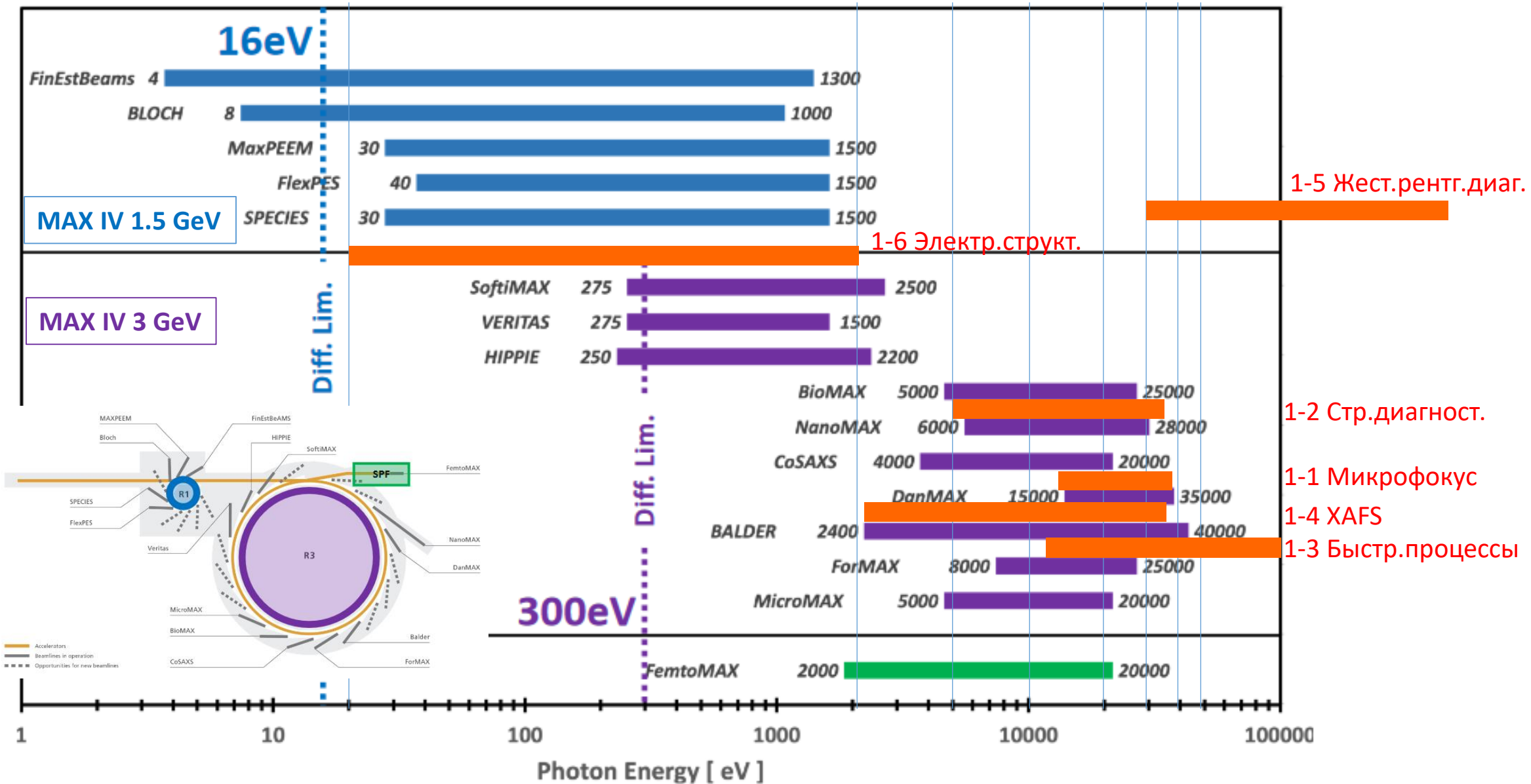


Секретарь Комиссии

• Экспериментальные станции 1-й очереди

- 1) **«Микрофокус» (14.4-35 кэВ)** – исследование биомакромолекул, магнитных материалов и вещества, в т.ч. в экстремальных условиях, неразрушающая томография микро- и наносистем;
- 2) **«Структурная диагностика» (5-35 кэВ)** – широкий спектр исследовательских и технологических задач, решаемых методами рентгеновской дифракции;
- 3) **«Быстропротекающие процессы» (15-100 кэВ)** – исследования с высоким временным разрешением при высоких температурах и давлениях, изучение воздействия ударных, детонационных волн, лазерного излучения и т.п.;
- 4) **«XAFS-спектроскопия и магнитный дихроизм» (2.5-35 кэВ)** – исследование локальной пространственной, электронной и магнитной структуры кристаллических и аморфных материалов, молекулярных кристаллов, жидкостей и газов, а также тяжелых элементов (с содержанием до 0.001%) в биологической матрице;
- 5) **«Диагностика в высокоэнергетическом рентгеновском диапазоне» (30-150 кэВ)** – высококонтрастные изображения с малым пространственным разрешением в жестком рентгеновском диапазоне для медицины, материаловедения, археологии и палеонтологии;
- 6) **«Электронная структура» (0.02-1.9 кэВ)** – исследование электронных свойств и химического состава поверхности широкого класса функциональных материалов (катализаторы, полупроводниковые структуры, углеродные материалы, многослойные покрытия, тонкие плёнки и другие).

• Станции СКИФ и МАХ IV



• Строительная и инженерная инфраструктура

Наименование показателя	Ед.измерения
Общая площадь участка	298222.0 м ²
Площадь застройки	66294.9 м ²
Площадь покрытий (проезды, площадки, тротуары и т.п.)	88245.6 м ²
Площадь озеленения	134248 м ²
Плотность застройки	22.2%

Ресурс	Показатель
Электроснабжение	12.447 МВт
Теплоснабжение	6.839 Гкал/час
Водоснабжение с учетом приготовления горячей воды	44.86 м ³ /час
Водоотведение (бытовая канализация)	40.06 м ³ /час
Водоотведение (ливневая канализация)	504 м ³ /час
Интернет	3 Гбит/с

Помещения с технологическим оборудованием	Темп. допуск (вода)	Темп. допуск (воздух)	Допуск колебаний магнитов, нм	
			2÷10 Гц	10÷100 Гц
Тоннель накопителя	± 0,1 °С	± 0,1 °С (1 час)	≤50	≤20
Экспериментальный зал	± 1 °С	± 1 °С	N/A	≤30
Каналы перепуска	± 1 °С	± 1 °С	≤150	
Тоннель бустера	± 1 °С	± 1 °С	≤150	
Линак	± 1 °С	± 1 °С	≤150	

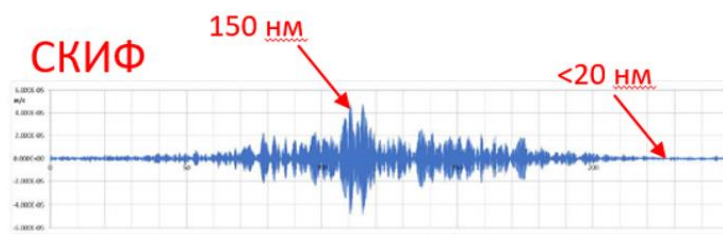


Рисунок 42 – Велосиграма вертикальных колебаний при прохождении поезда, м/с

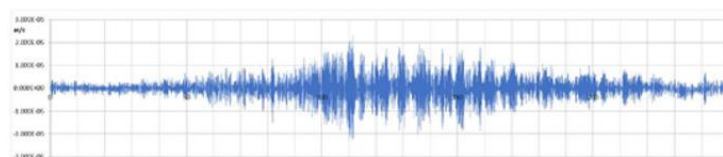
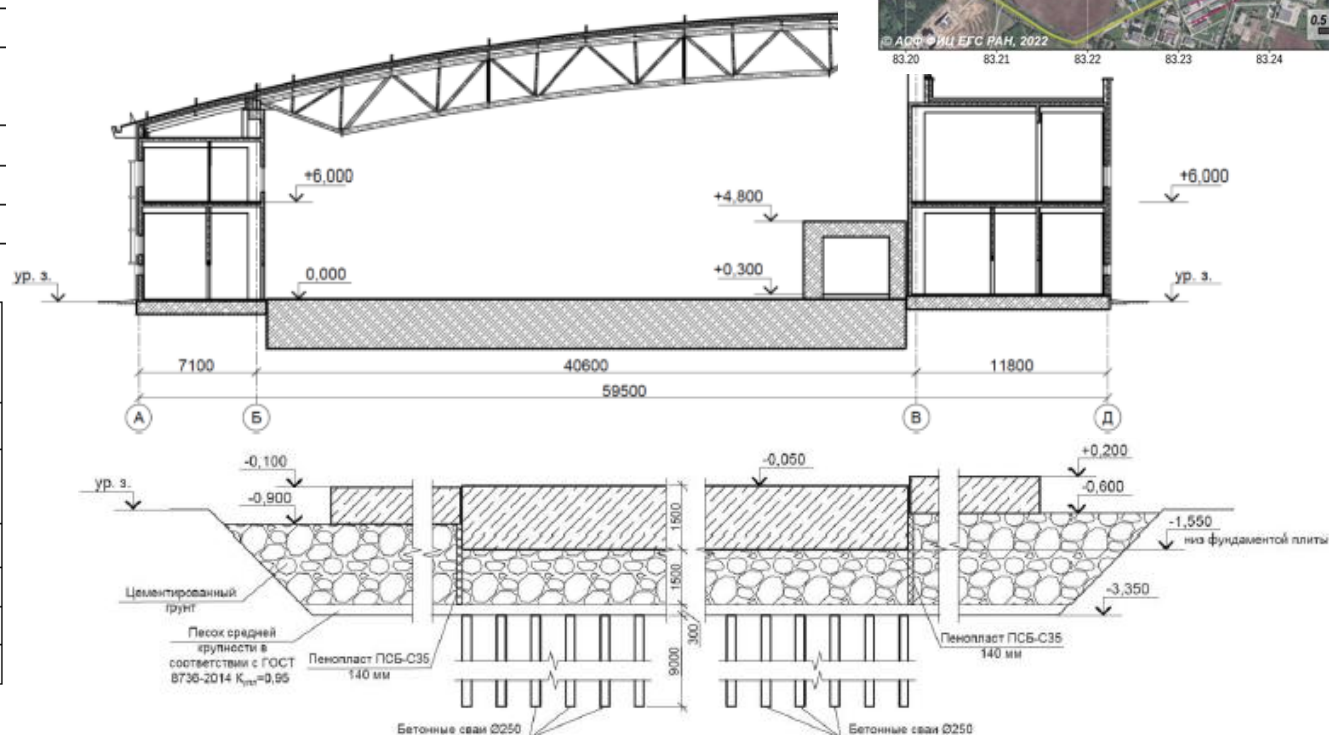
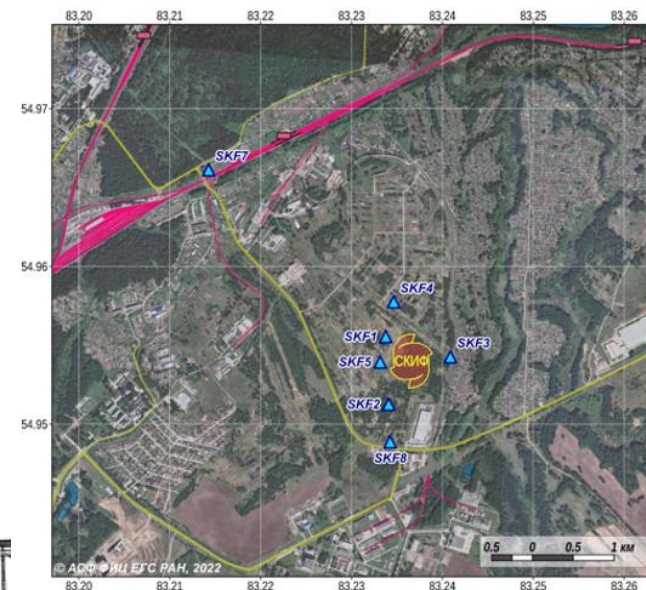


Рисунок 43 – Велосиграма горизонтальных колебаний (Юг-Север) при прохождении поезда, м/с



- Стройплощадка, сентябрь 2022 г.



- Стройплощадка, сентябрь 2023 г.



• Стройплощадка, сентябрь 2024 г.



- Стройплощадка, сентябрь 2025 г.



• Стройплощадка, январь 2026 г.



• Выводы

План запуска ЦКП «СКИФ», выполнение Указа Президента РФ («завершено создание источника СИ поколения 4+»)

2025 г.

Август: Начало работ в тоннеле накопителя

Ноябрь: Получение проектных параметров бустера (3 ГэВ)

Ноябрь: Начало ПНР оборудования накопителя

Декабрь: Перепуск пучка электронов (3 ГэВ) в здание накопителя

Декабрь: **Технологический пуск СКИФ**, завершение создания источника СИ поколения 4+ и одной экспериментальной станции (1-7), **исполнение Указа Президента РФ**

2026 г.

Июнь: Завершены тестовая эксплуатация СКИФ и комплексная наладка инженерных систем и научного оборудования (ИК СО РАН, ИЯФ СО РАН, АО «КОНЦЕРН ТИТАН 2» и др. подрядчики)

Июль: циркулирующий пучок электронов в накопителе СКИФ, получение проектных параметров, первые эксперименты

Ноябрь: установка штатных генераторов СИ, переход к Промышленной эксплуатации



«В ближайшее время планируем осуществить **технологический пуск** еще одной мощной установки – СКИФ. Она существенно расширит функционал, спектр возможностей российской исследовательской инфраструктуры.»

В.В. Путин
Форум будущих технологий
21 февраля 2025 года

18-23 OCTOBER, 2026 / NOVOSIBIRSK, RUSSIA

International Conference "Synchrotron Radiation: Science, Knowledge, Innovations, Future" (SKIF-2026)

[Registration](#)

[Add Abstracts](#)



• Credits



ФИЦ «ИНСТИТУТ КАТАЛИЗА
им. Г.К. Борескова»



НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ
ИНСТИТУТ»



КТИ НП СО РАН



СИБИРСКИЙ КОЛЬЦЕВОЙ
ИСТОЧНИК ФОТОНОВ



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Институт
гидродинамики
им. М.А. Лаврентьева
СО РАН



Институт ядерной физики
имени Г. И. Будкера СО РАН



Институт сильноточной
электроники СО РАН



ЦПТИ
РОСАТОМ

T2 ТИТАН2
х о л д и н г

«КТО ДО СКИФА, ВЫХОДИМ!»

