



# Эксперименты по генерации излучения на Новосибирском ЛСЭ

Лаборатория 8-1

*О.А. Шевченко*





## Содержание доклада

### 1. Результаты и достижения 2022 года

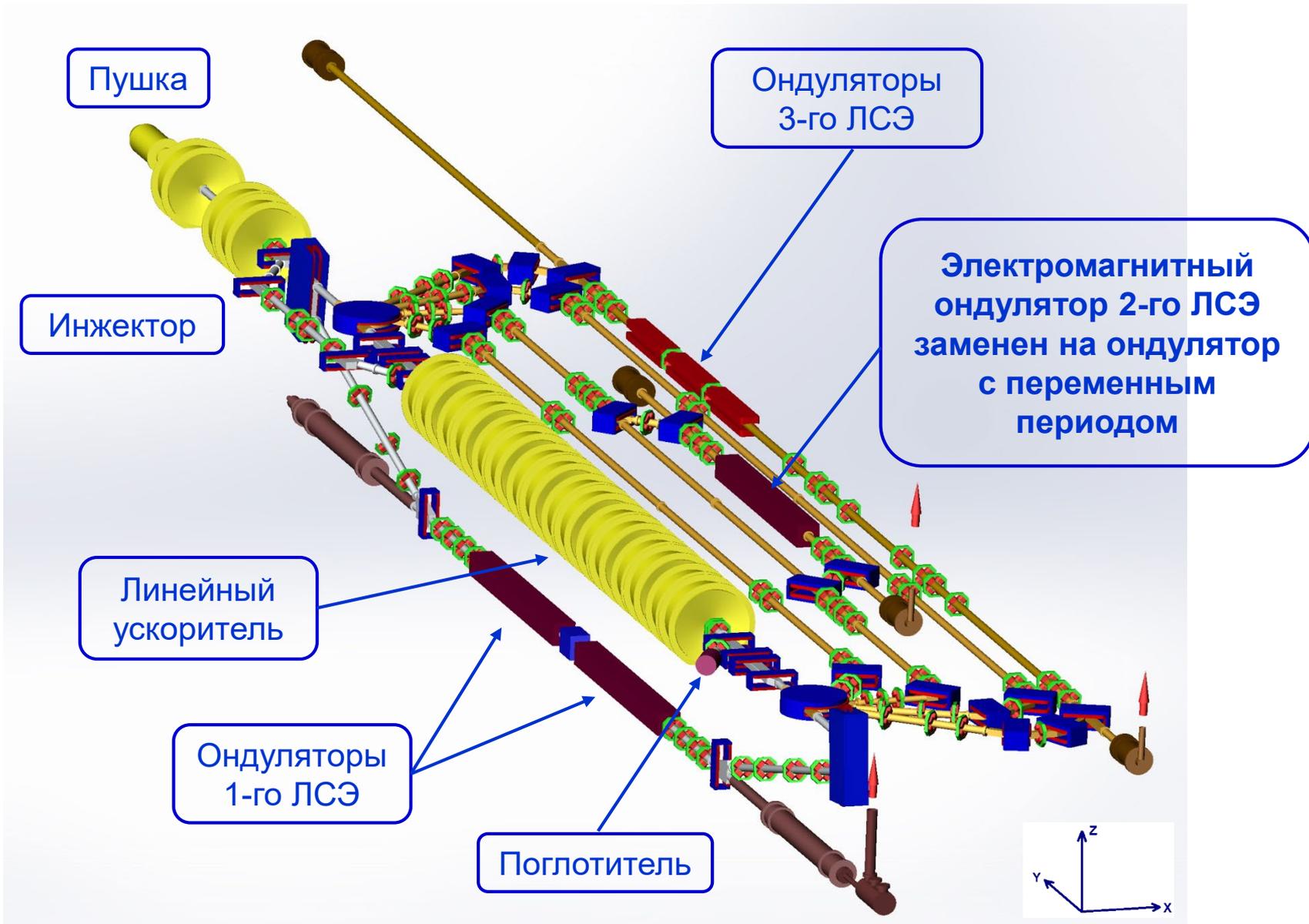
- Работа при пониженной энергии электронного пучка
- Расширение диапазона генерации 1-го ЛСЭ
- Генерация на 3-й гармонике
- Быстрая перестройка длины волны
- Статистика работы ЛСЭ в 2022 году

### 2. Перспективные работы

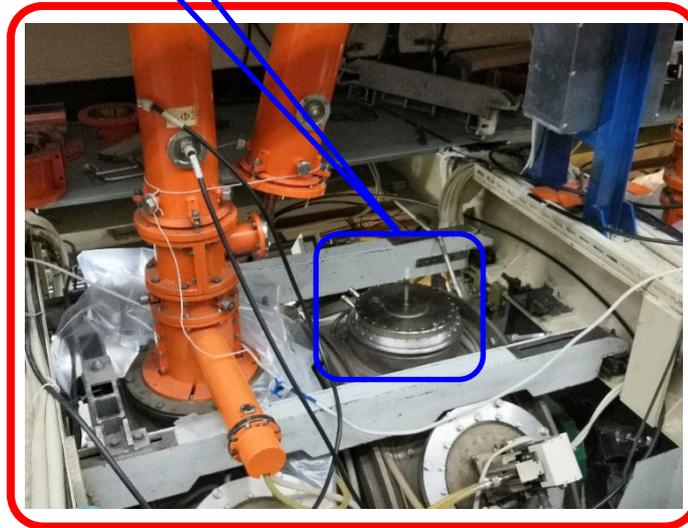
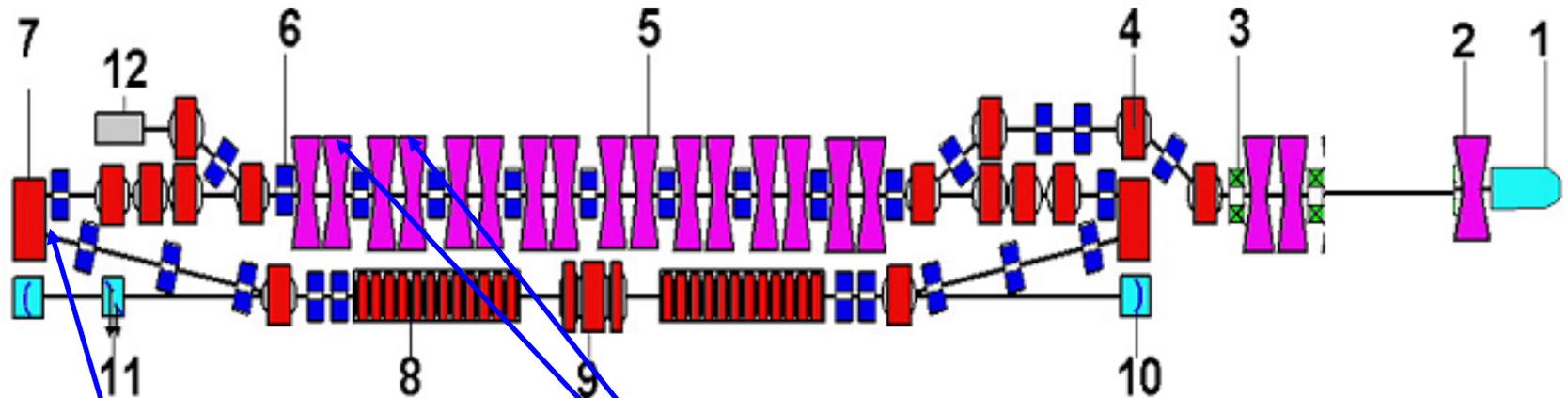
- Ондулятор с переменным периодом для 1-го ЛСЭ
- Получение коротких электронных сгустков



# Новосибирский ЛСЭ



# Работа при пониженной энергии электронного пучка



**Максимальная энергия:**

было 13.5 MeV  
стало 10.0 MeV

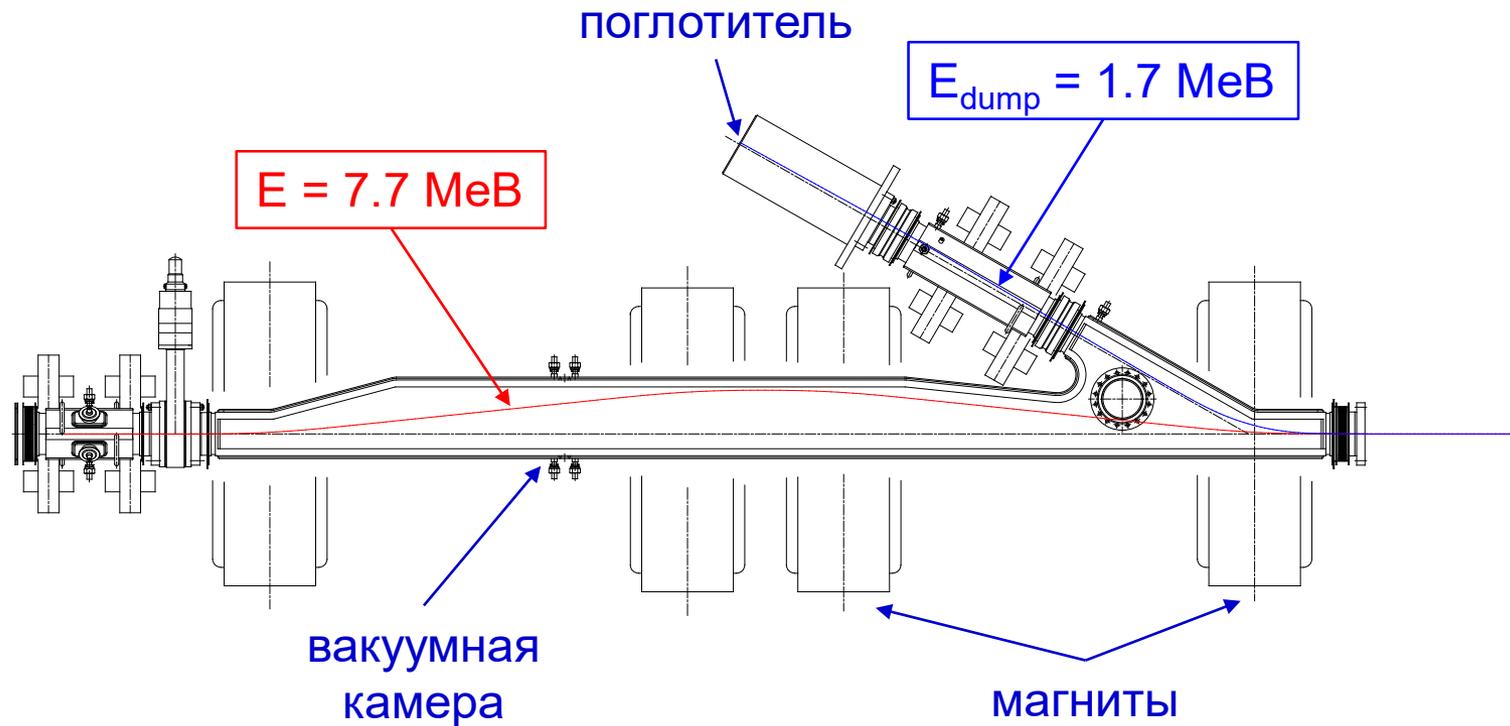
**Минимальная энергия:**

получено 7.7 MeV

После вакуумной аварии 6 мая 2022 г. вышли из строя вводы мощности в 3-х резонаторах одной линейки. Для продолжения работы комплекса было принято решение отключить два резонатора (7-1 и 8-1)



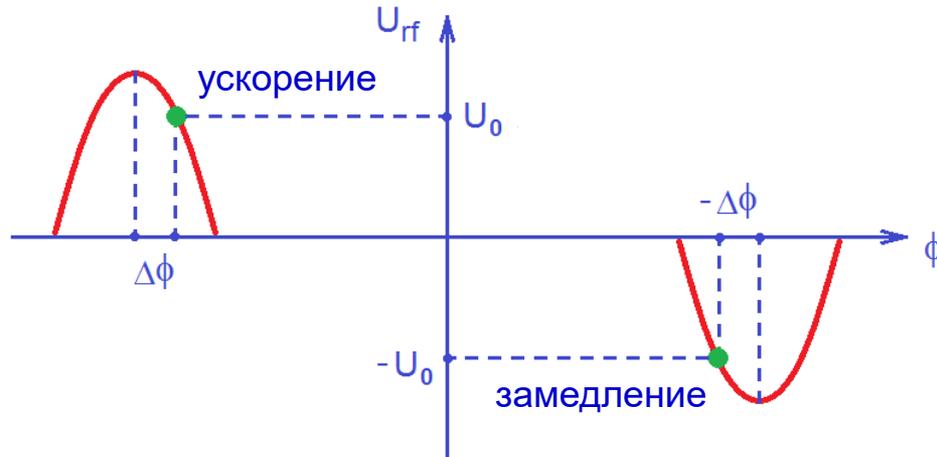
# Работа при пониженной энергии электронного пучка



**Проблема 1:** При фиксированной энергии электронов в инжекторе (и поглотителе) понижение полной энергии приводит к смещению траектории пучка к стенке вакуумной камеры впускной (и выпускной) змейки.



# Работа при пониженной энергии электронного пучка



$$E_1 = 13.1 \text{ MeV} \quad \Delta\phi = +5^\circ$$

$$E_2 = 7.7 \text{ MeV} \quad \Delta\phi = -3^\circ$$

$$E_3 = 6.0 \text{ MeV} \quad \Delta\phi = -11^\circ$$

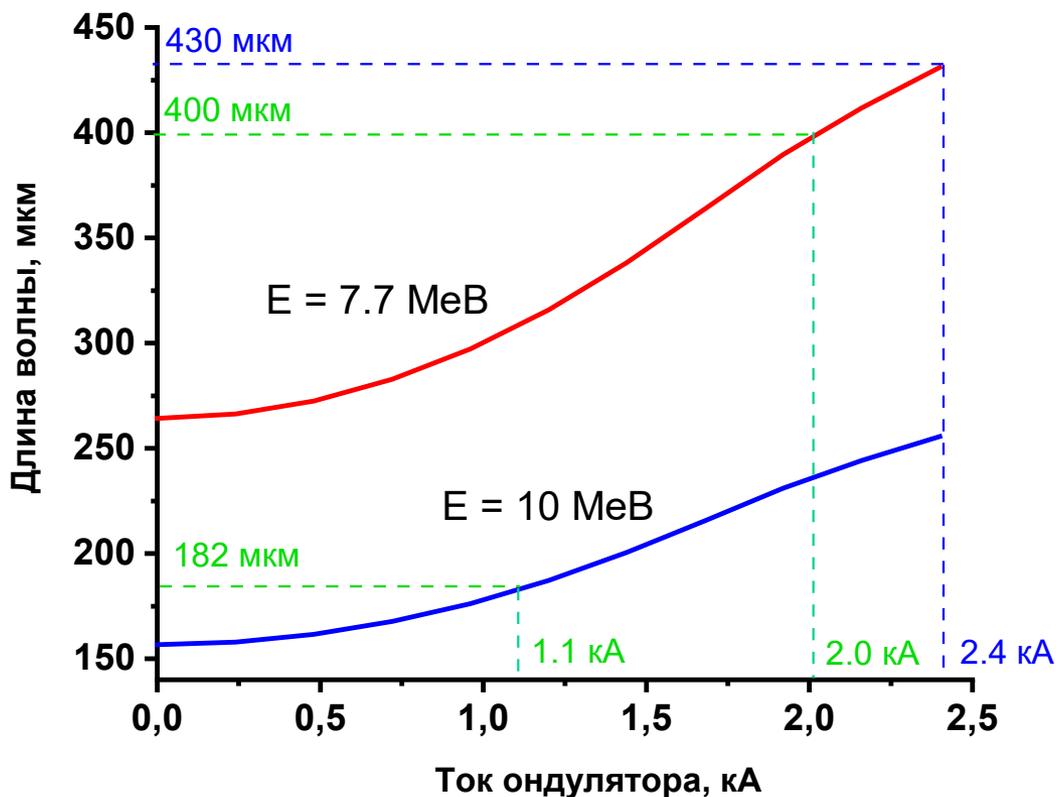
$$T = T_{rf} \left( N + \frac{1}{2} - \frac{\Delta\phi}{\pi} \right)$$

*Если время оборота не равно полуцелому числу периодов ускоряющего напряжения, то для сохранения равенства энергий пучка в инжекторе и поглотителе ускорение должно производиться в определенной фазе.*

**Проблема 2:** При снижении энергии пучка увеличивается время пролета между моментами ускорения и замедления, вследствие чего приходится сдвигать фазу ускорения на “разгруппирующий” склон.



# Расширение диапазона генерации 1-го ЛСЭ



$$\lambda = \lambda_w \frac{1}{2\gamma^2} \left( 1 + \frac{K(I_w)^2}{2} \right)$$

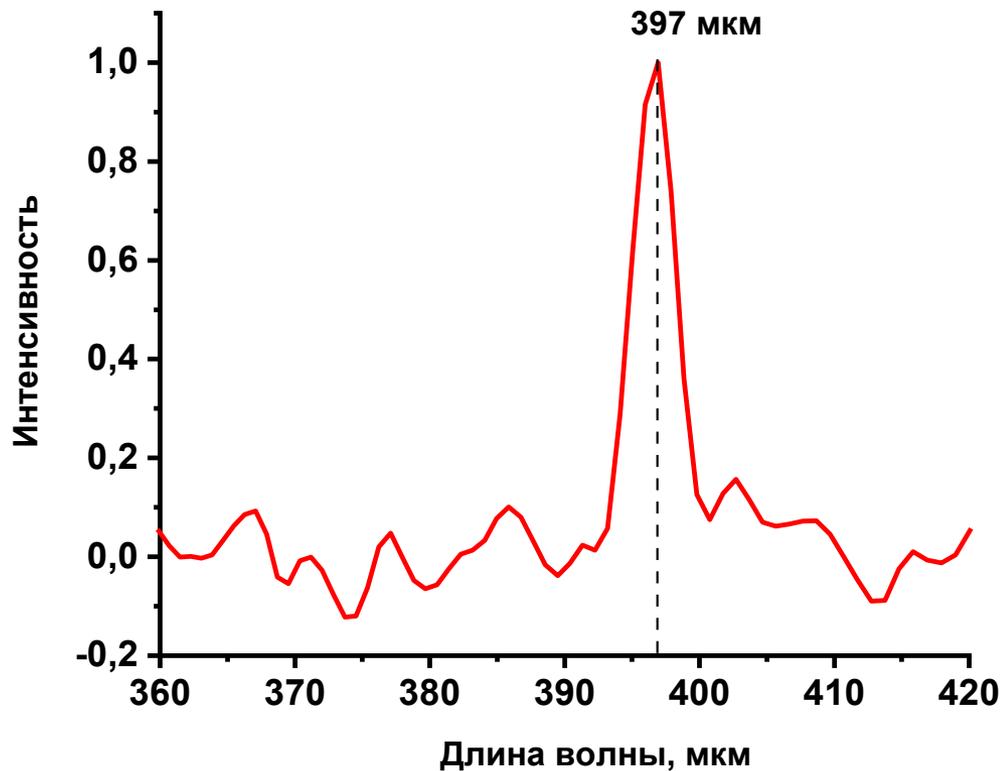
**Максимальная  
длина волны:**

было **340** мкм  
стало **400** мкм

При энергии пучка **7.7 MeV**, используя существующий ондулятор, теоретически можно получить генерацию на длине волны **430** мкм. Экспериментально была получена генерация на длине волны **400** мкм.



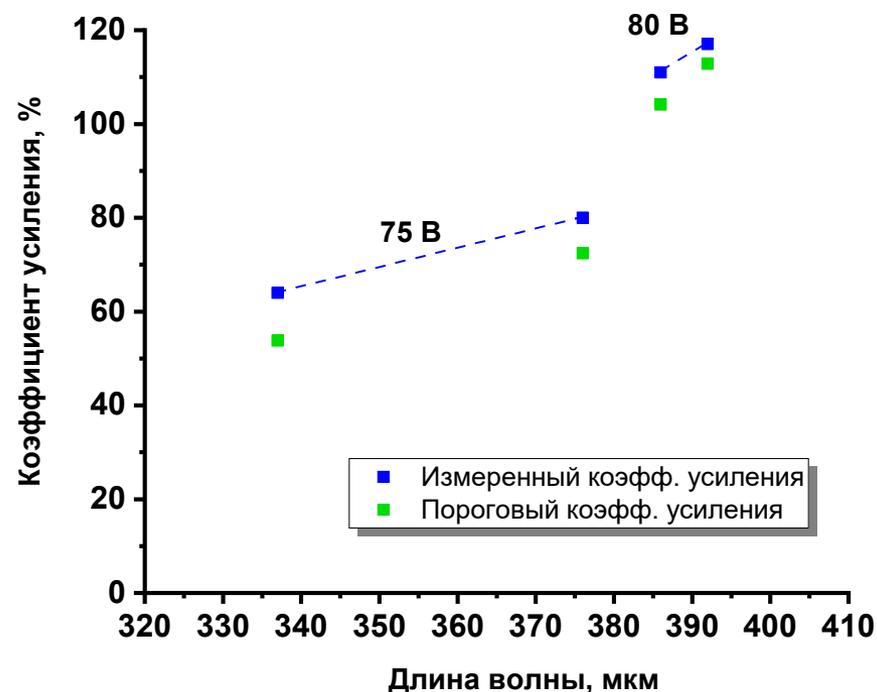
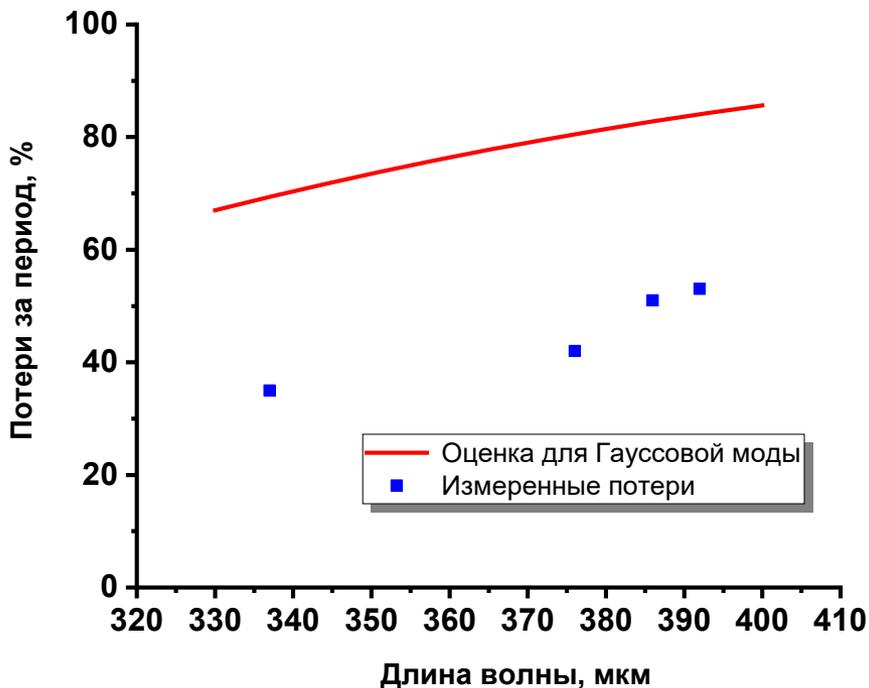
# Расширение диапазона генерации 1-го ЛСЭ



Измеренный спектр на длине волны 397 мкм.



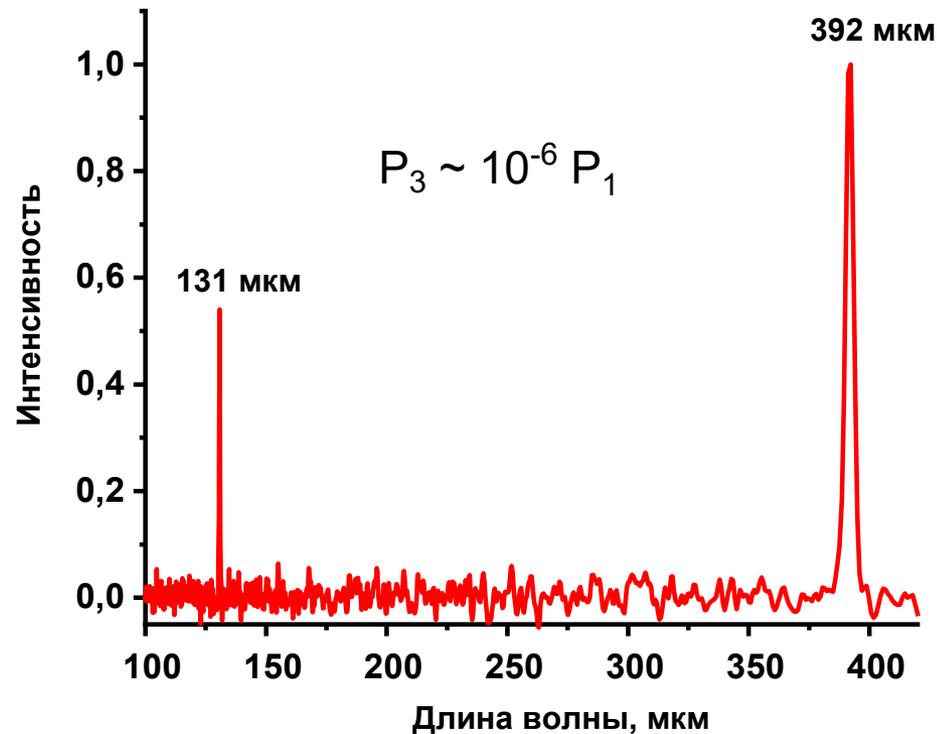
# Расширение диапазона генерации 1-го ЛСЭ



*Измеренные потери излучения в оптическом резонаторе оказались существенно меньше оценок, полученных для Гауссовой моды. Достигнутый коэффициент усиления превышает пороговый (для измеренных потерь), что делает возможным получение генерации.*



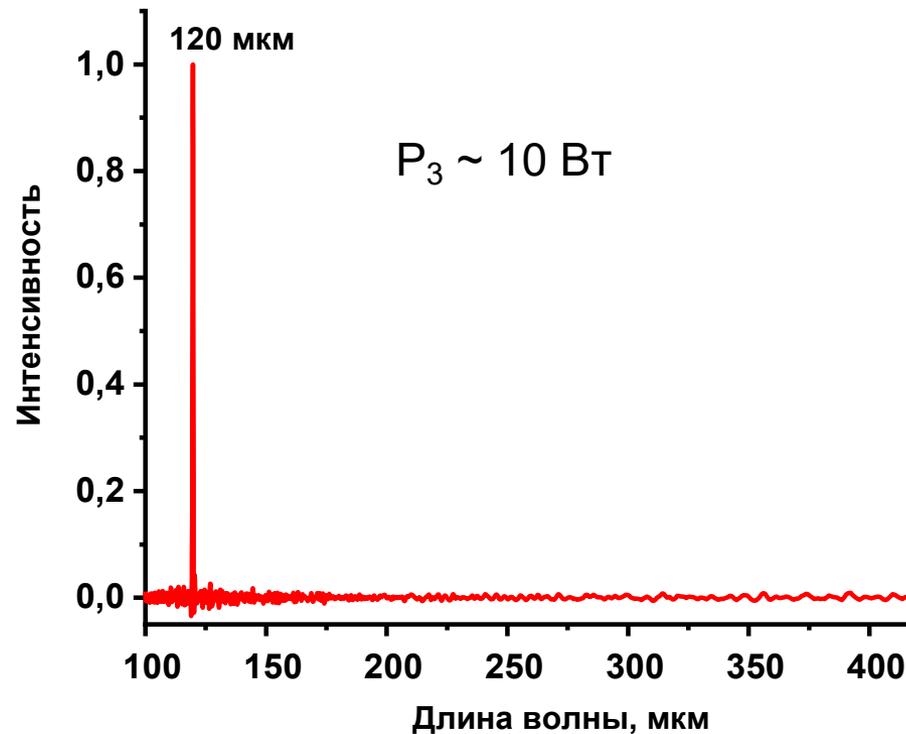
# Генерация на 3-й гармонике



*В спектре спонтанного излучения из плоского ондулятора под нулевым углом присутствуют нечетные гармоники. При генерации на основной длине волны на гармониках наблюдается усиленное спонтанное излучение, обусловленное микрогруппировкой пучка.*



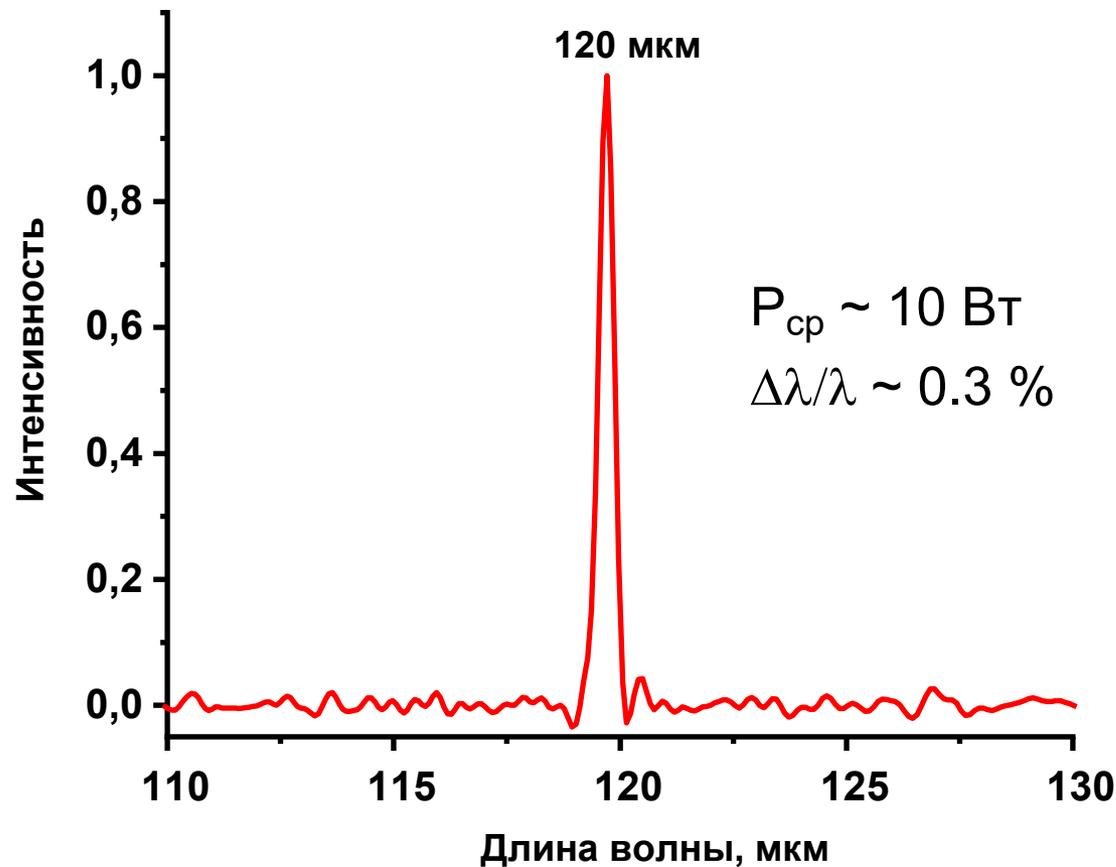
# Генерация на 3-й гармонике



*Чтобы получить генерацию на гармонике, необходимо подавить генерацию на основной длине волны. В нашем случае этого удастся достичь путем изменения частоты следования электронных сгустков.*



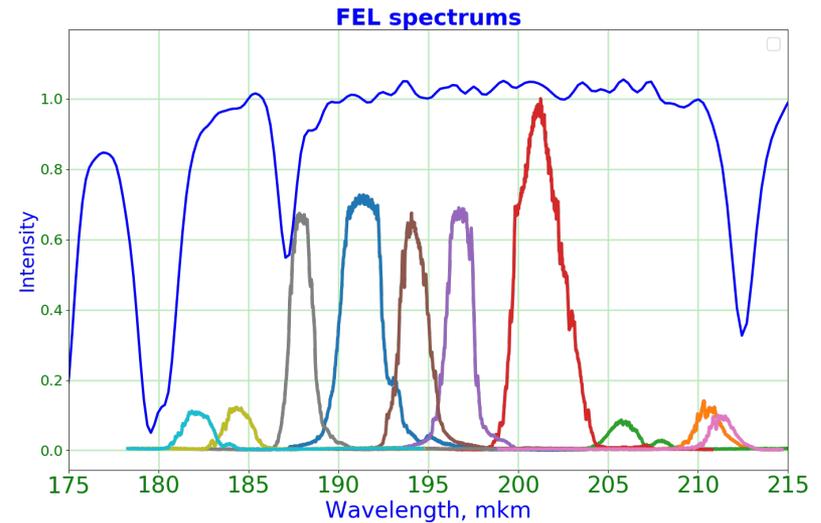
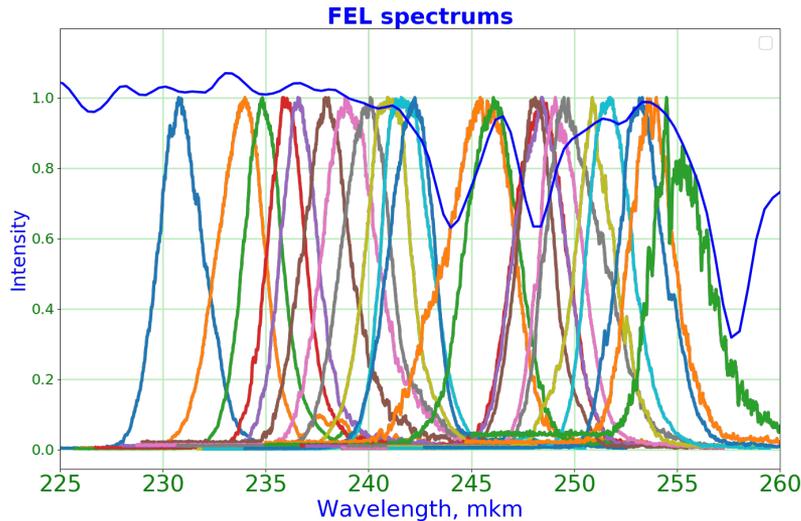
# Генерация на 3-й гармонике



Получена генерация 3-й гармоники в диапазоне 110 – 135 мкм. Излучение имеет узкий спектр, его средняя мощность составляет около 10 ватт.



# Быстрая перестройка длины волны



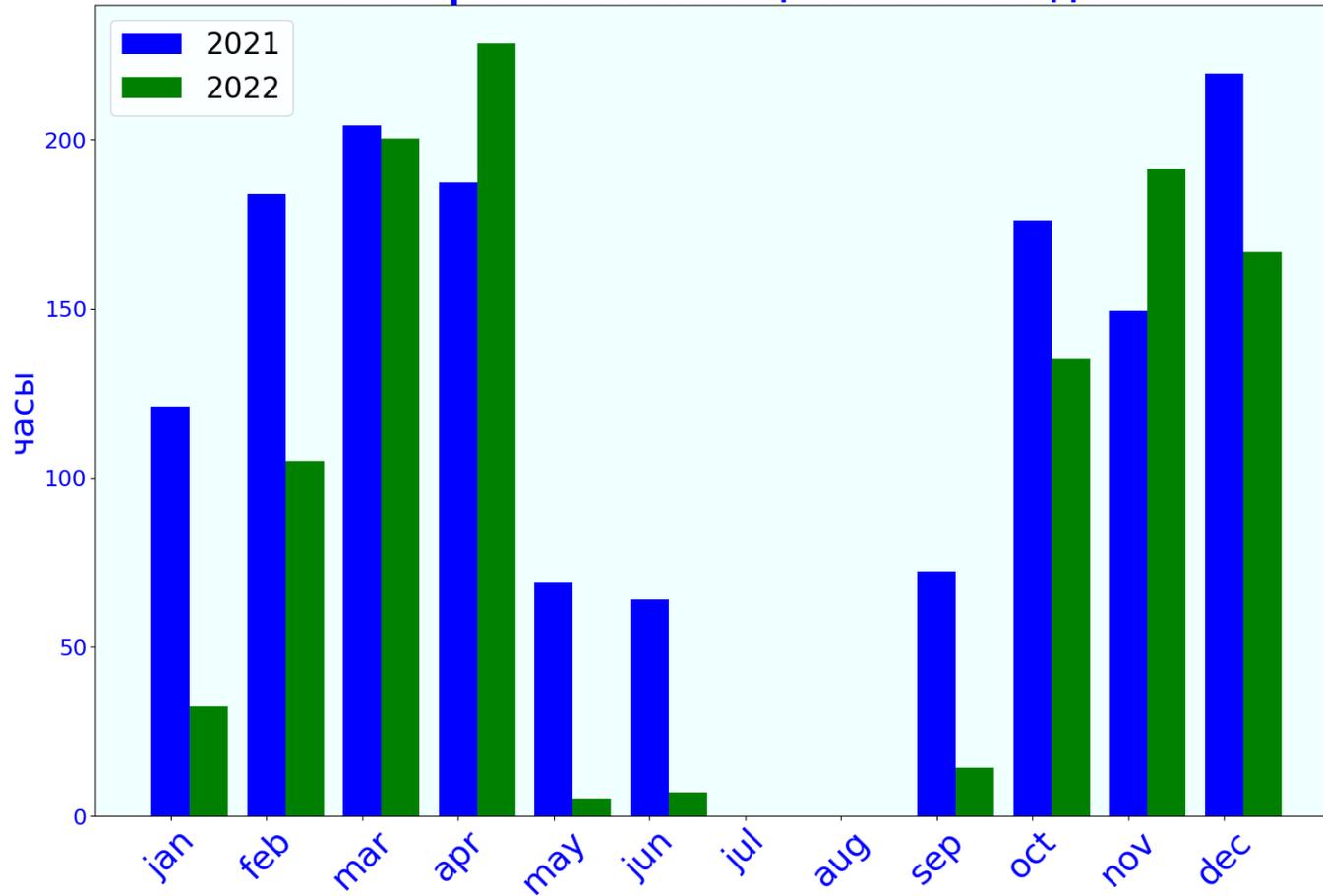
Номер серии	Энергия, МеВ	Диапазон, мкм	Число режимов
1	10	182 - 240	20
2	9.37	240 - 250	6
3	8.9	275 - 298	1

Сканирование по длине волны в сериях 1 и 2 осуществлялось с использованием заранее настроенных режимов. Замена режимов производилась без уменьшения частоты повторения электронного пучка.



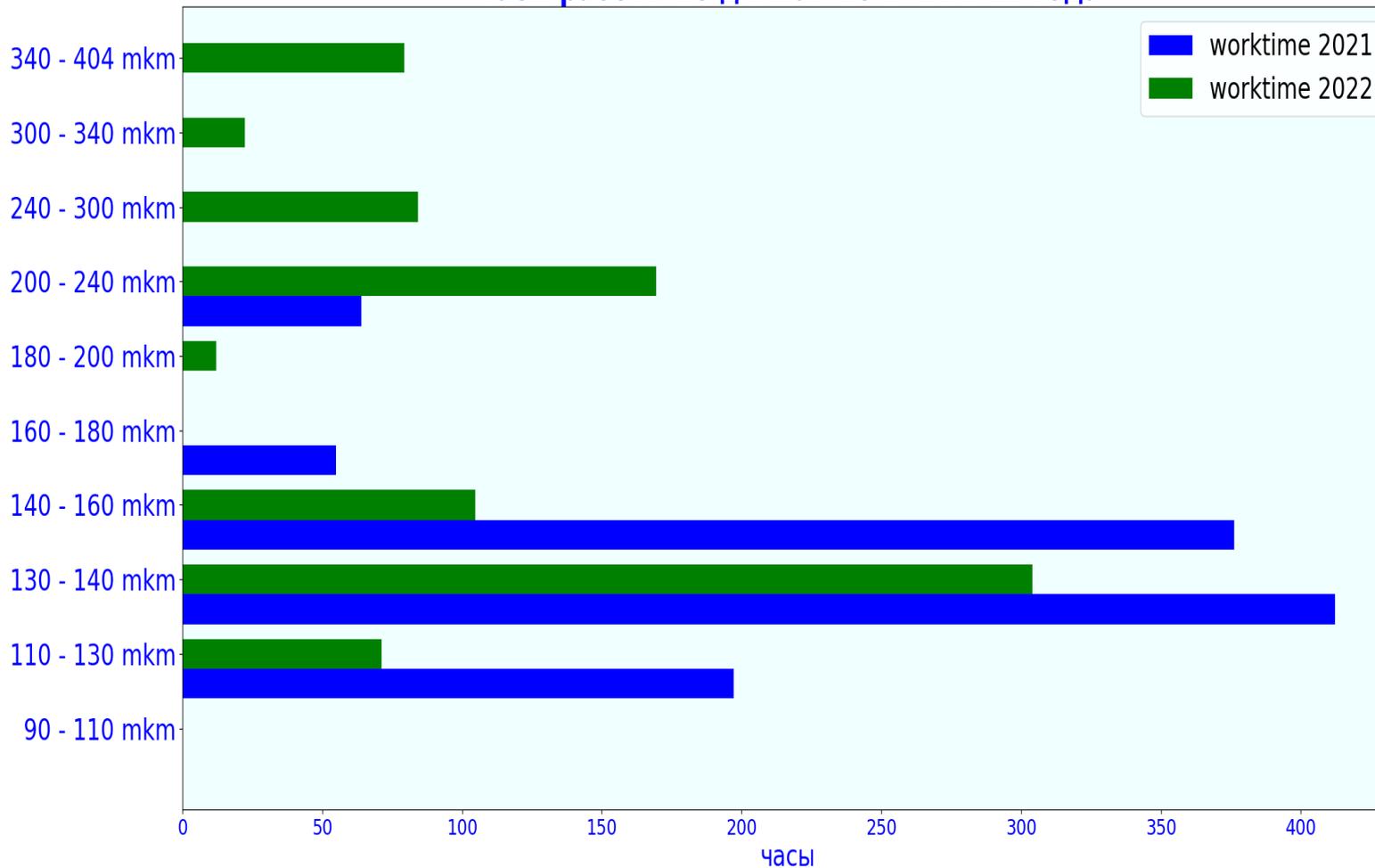
# Статистика работы ЛСЭ

## Часы работы по месяцам 21 и 22 года



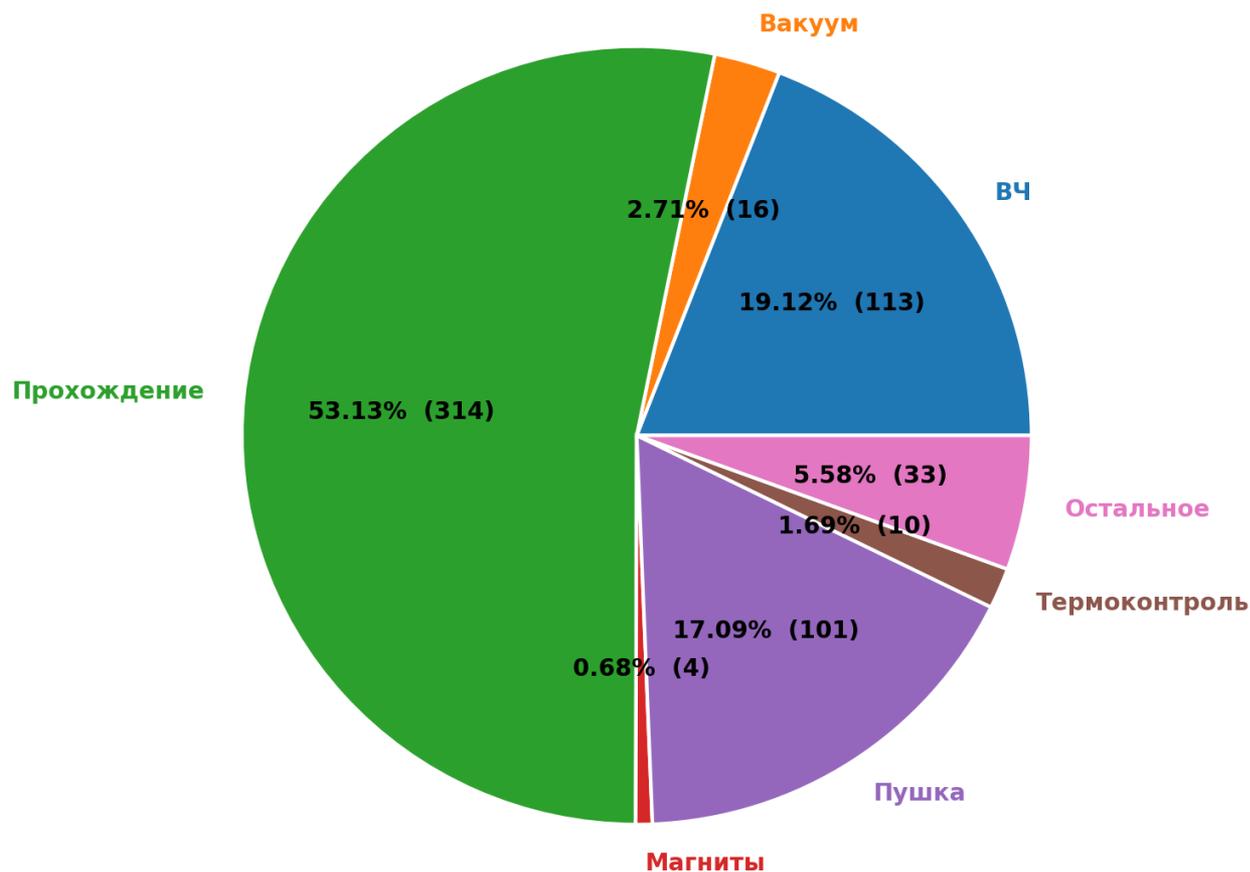
# Статистика работы ЛСЭ

## Часы работы по длинам волн 21 и 22 года



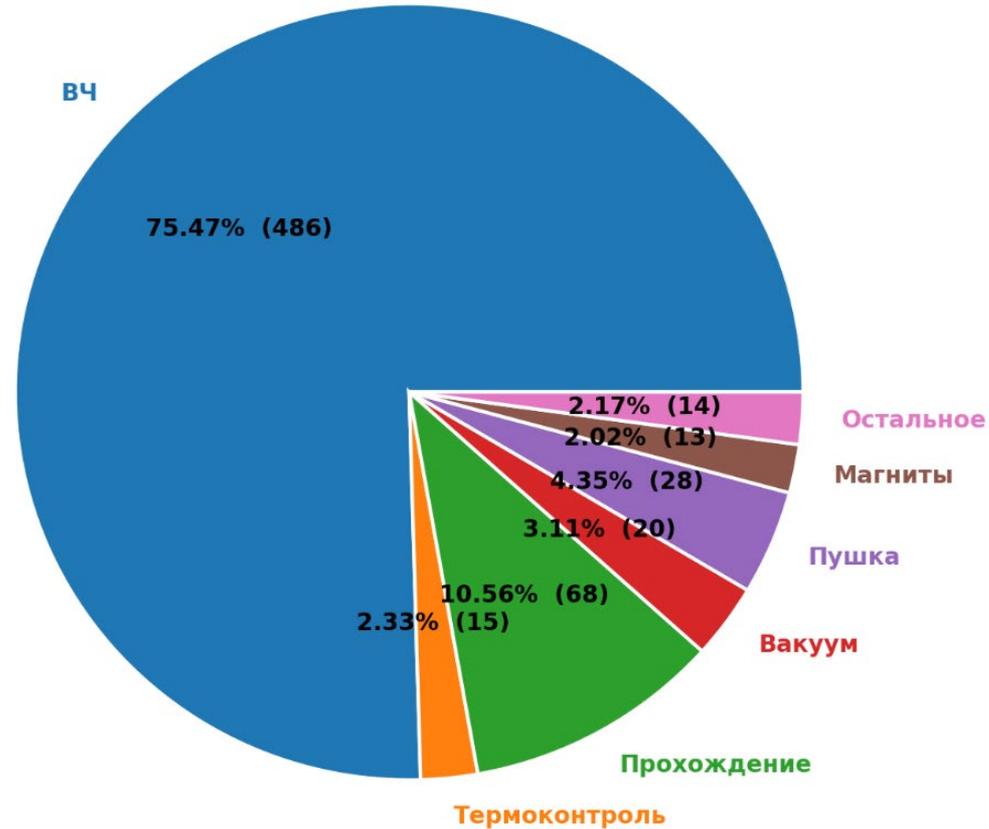
# Статистика работы ЛСЭ

## Отключения во время работы, 2022

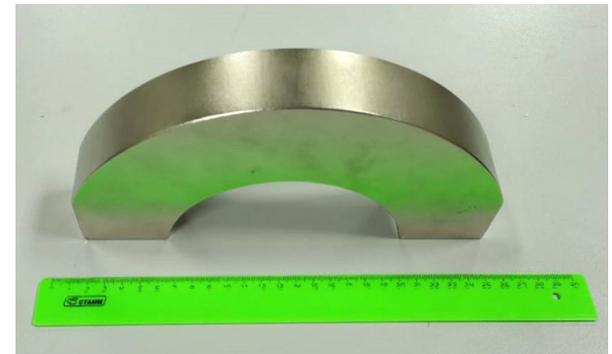
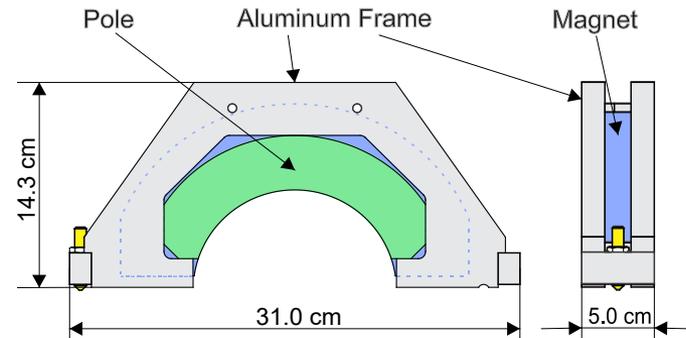
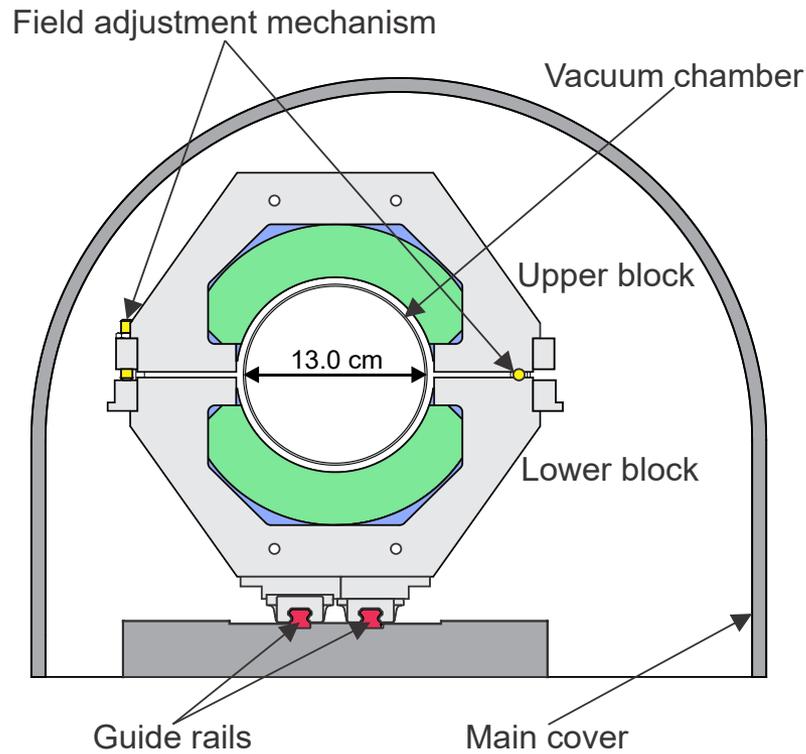
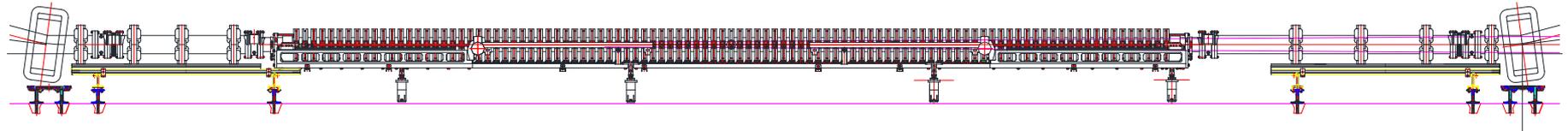


# Статистика работы ЛСЭ

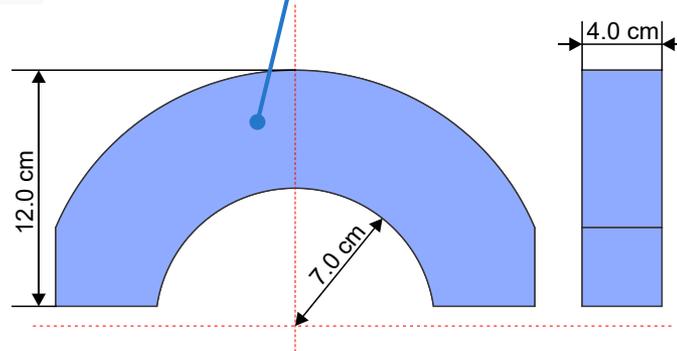
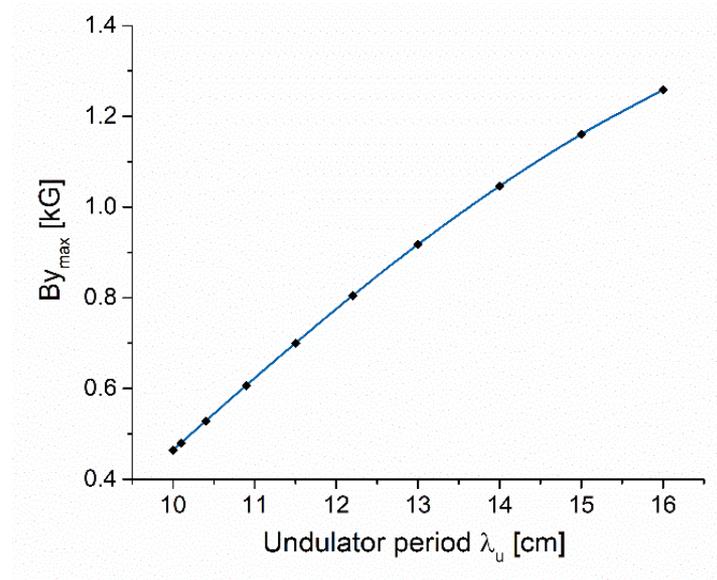
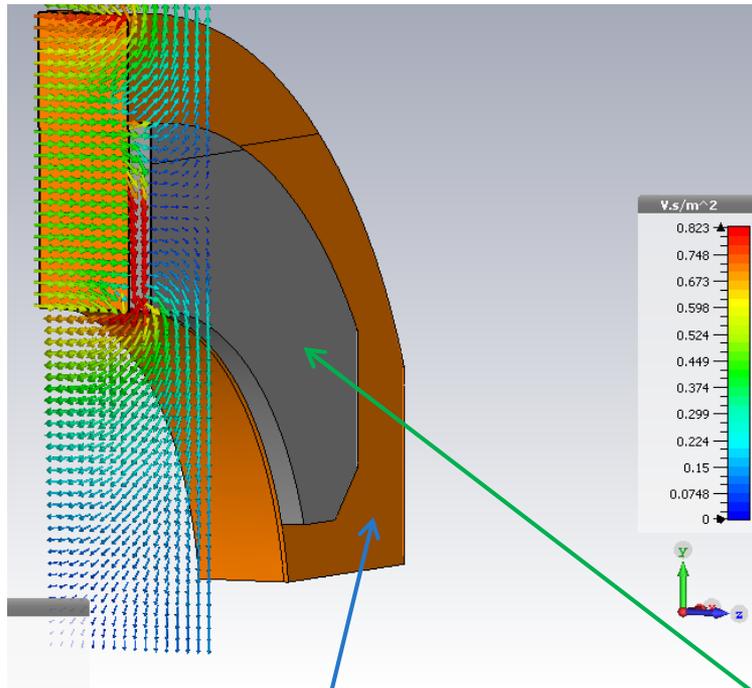
## Отключения во время работы, 2021



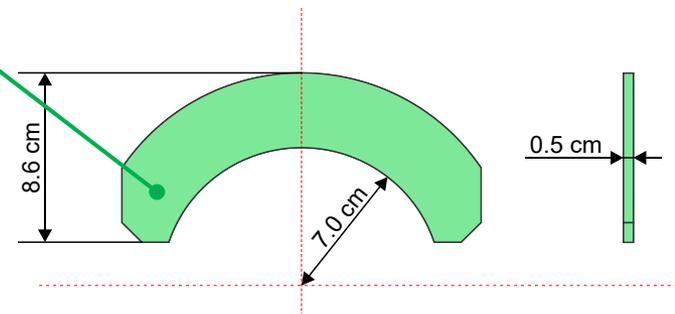
# Ондулятор с переменным периодом для 1-го ЛСЭ



# Ондулятор с переменным периодом для 1-го ЛСЭ



**ПОСТОЯННЫЙ МАГНИТ**



**ПОЛЮСНАЯ НАКЛАДКА**

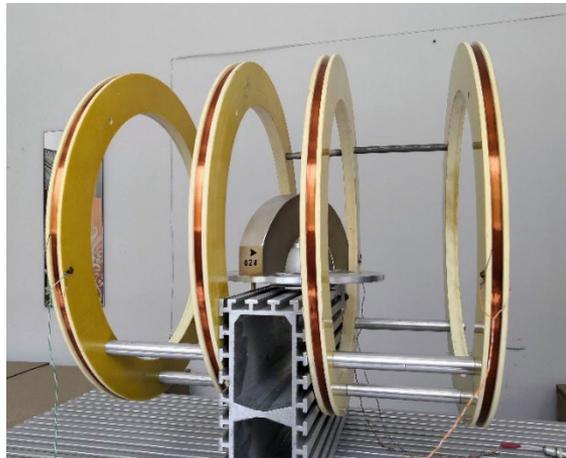


# Ондулятор с переменным периодом для 1-го ЛСЭ

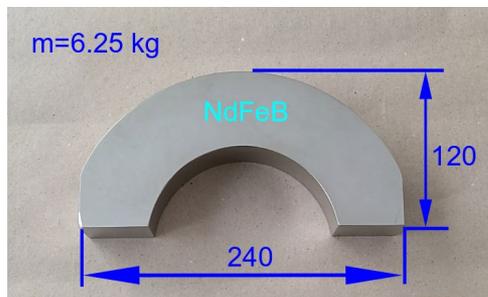
Параметр	ЭМ ондулятор	ОПП
Период, см	12	10 - 16
Апертура, см	8	14
Число периодов	2×32	50 - 80
Длина волны, мкм	90 - 400	82 – 450 (?)
Параметр К	0 – 1.1	0.45 – 1.9
Полная длина, см	800	860



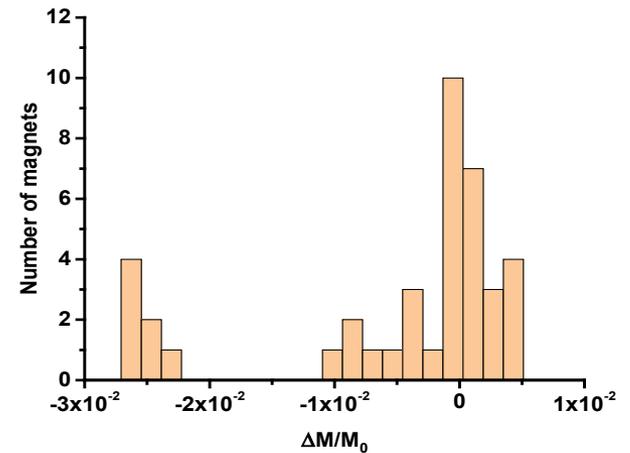
# Сортировка магнитов для нового ондулятора



Измерительная катушка



Магниты: масса 6,25 кг,  
размеры 240x120x40 мм



Измерена намагниченность  
40 магнитов

Ограничение на допустимую ошибку намагниченности

$$\left| \Delta M_z / M_0 \right| \leq 10^{-2}$$



# Получение коротких электронных сгустков

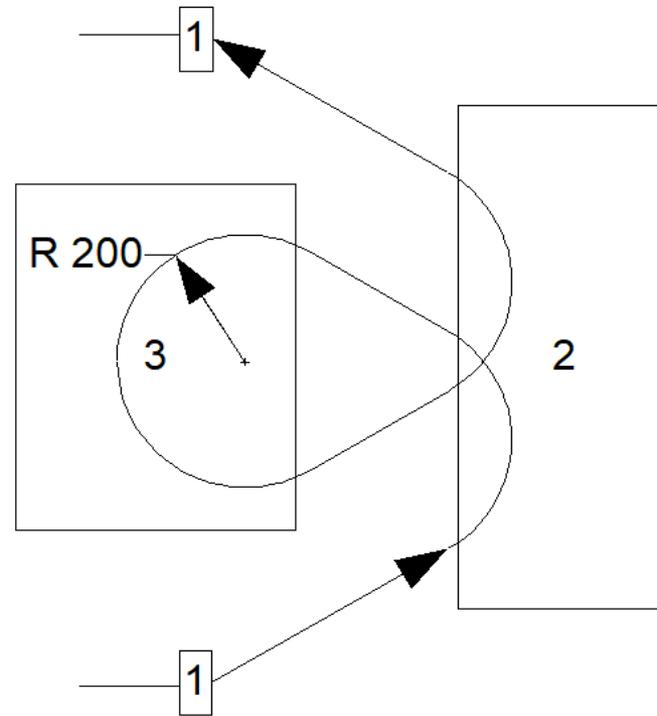
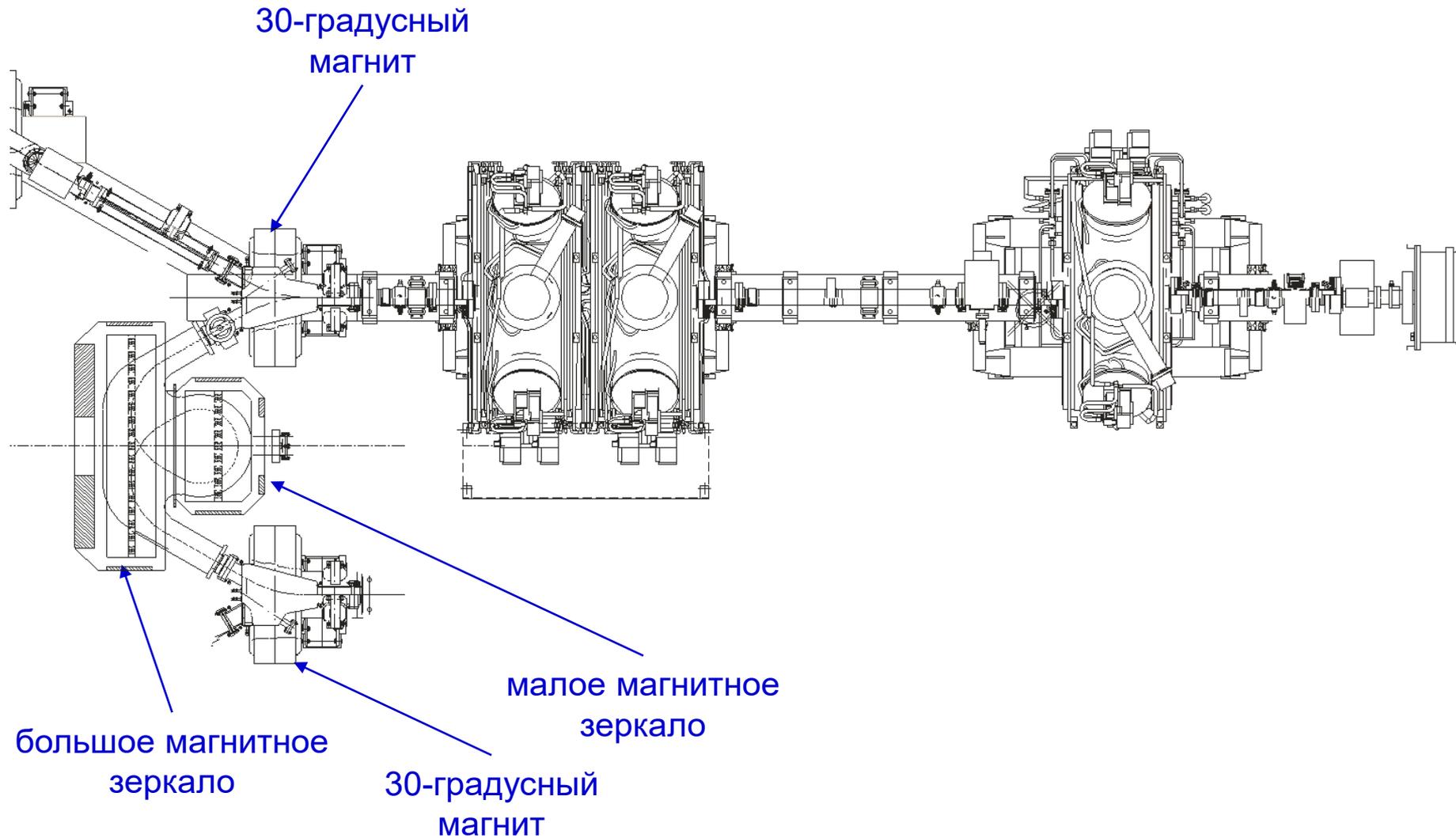


Схема группирующей магнитной системы с поворотом на 540 градусов: 1 – тридцатиградусные магниты, 2 – большое магнитное зеркало, 3 – малое магнитное зеркало. Опорная траектория электронов показана сплошной кривой.



# Получение коротких электронных сгустков

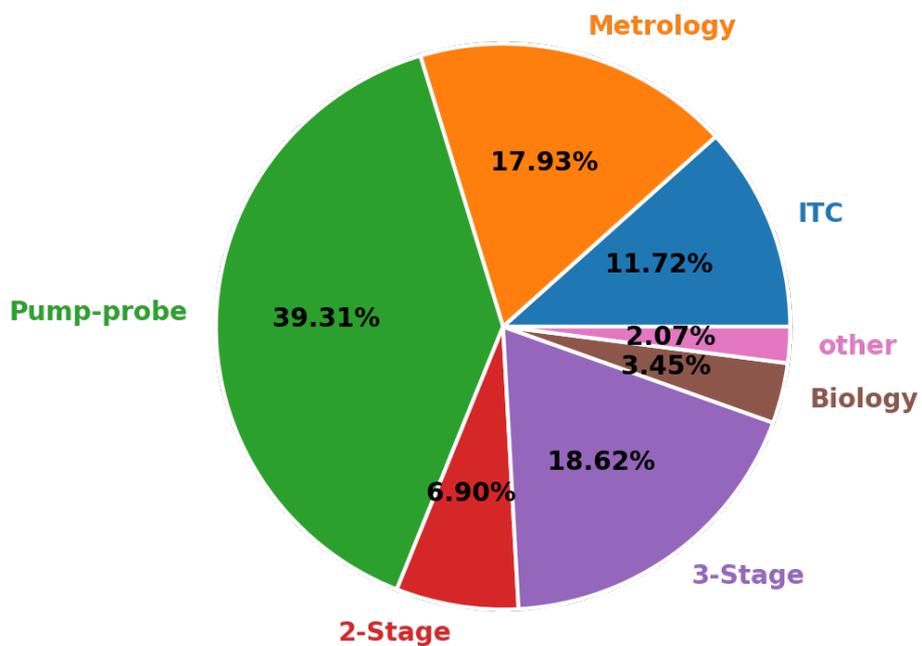


**Спасибо за внимание!**



# Распределение рабочего времени по станциям

## User groups worktime, 2021



## User groups worktime, 2022

