



РОСАТОМ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Проект «Создание мощных источников Электромагнитного излучения ЭЦР диапазона»

Разработка новых гироприборов в рамках КП РТТН

Докладчик: Цветков А.И.

Куратор проекта: Кондратьев Н.А.

Руководитель проекта: Глявин М.Ю.

Научный руководитель проекта: Денисов Г.Г.

01.07.2022



Актуальность проекта



Актуальность: на сегодняшний день практически все действующие и разрабатываемые установки УТС включают в себя гиротронные комплексы для нагрева, управления током и активной диагностики плазмы. По совокупности параметров частота излучения, мощность и эффективность нижегородские гиротроны превосходят мировые аналоги и определяют мировой уровень развития вакуумной электроники больших мощностей.

Цель работы: создание гироприборов с уникальным сочетанием параметров излучения (мощность, частота, спектр, эффективность, время жизни) для использования как в задачах УТС, так и в перспективных фундаментальных и прикладных исследованиях. Создание нового поколения гироприборов и укрепление лидирующих позиций России в данной области.

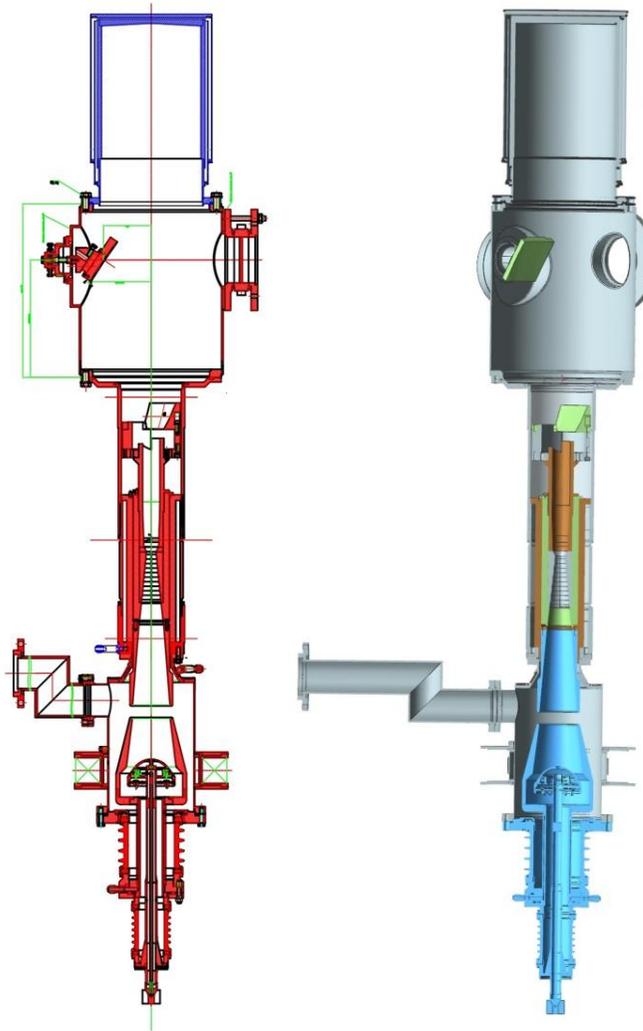
Задачи этапа 2022 года

1. Разработка принципов построения высокоэффективных гиротронов, предназначенных для нагрева плазмы и управления током в установках УТС нового поколения (ДЕМО, ТРТ).
2. Разработка и испытание микроволновых комплексов 28-45 ГГц/10-20 кВт/СВ для нового поколения источников ионов
3. Испытания макетов и прототипов гиротронных систем работающих на частоте 170 ГГц с повышенным ресурсом.
4. Демонстрация в гиротронах с рабочей частотой 170 ГГц эффективности не менее 55%, при мощности не менее 1.2 МВт).
5. Разработка и исследование эффективных компонентов линий транспортировки микроволнового излучения.

Разработка гиротрона с рабочей частотой 230 ГГц для ТРТ, ДЕМО



JMTD 10T 150



72 кВ, 45 А

$TE_{\pm 33.13}$ 230 ГГц

+

$TE_{\pm 29.11}$ 197.3 ГГц

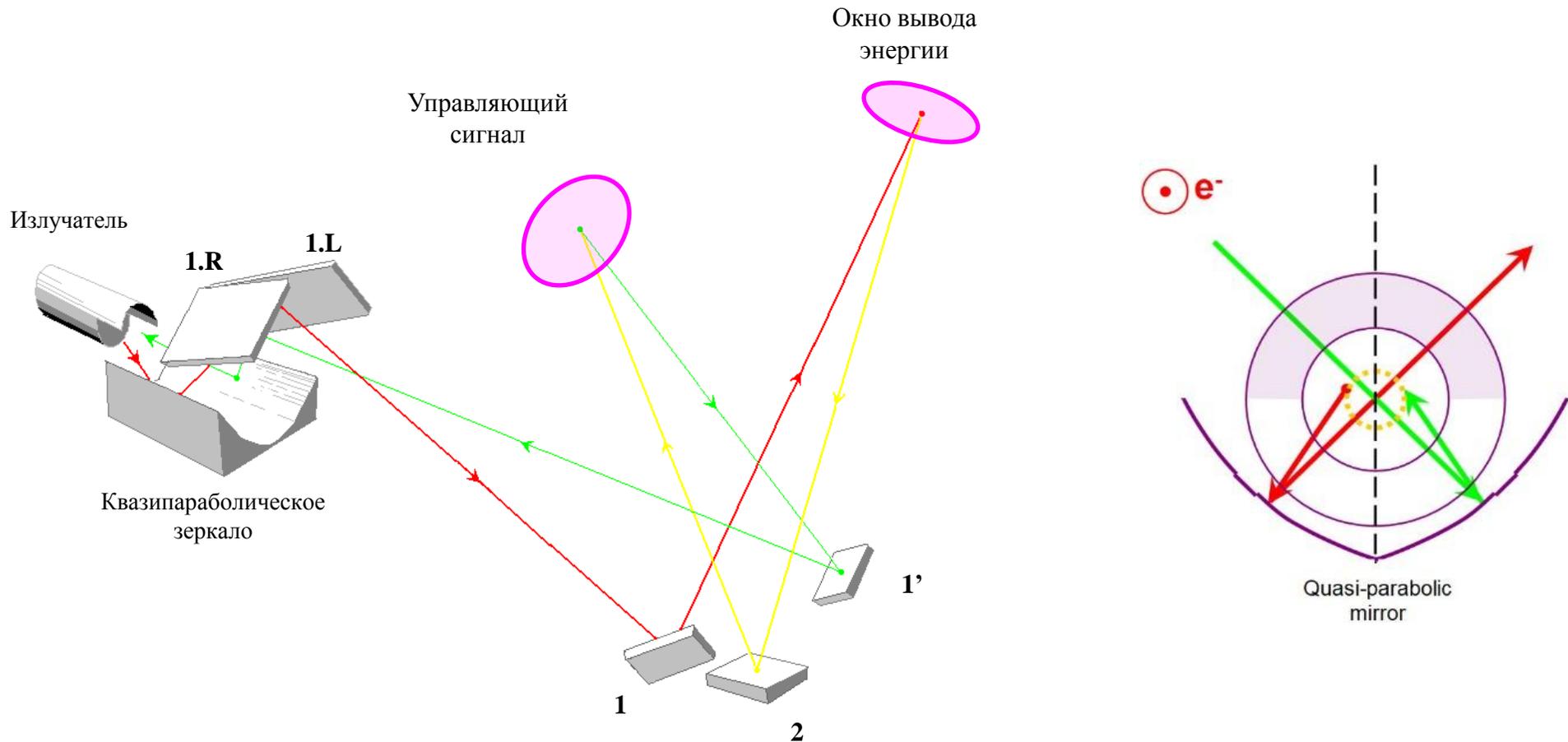
$230 / 197.3 \approx 7/6$
 что соответствует
 толщине окна из
 CVD алмаза
 1.915 мм

Разработка гиротрона с рабочей частотой 230 ГГц для TRT, DEMO



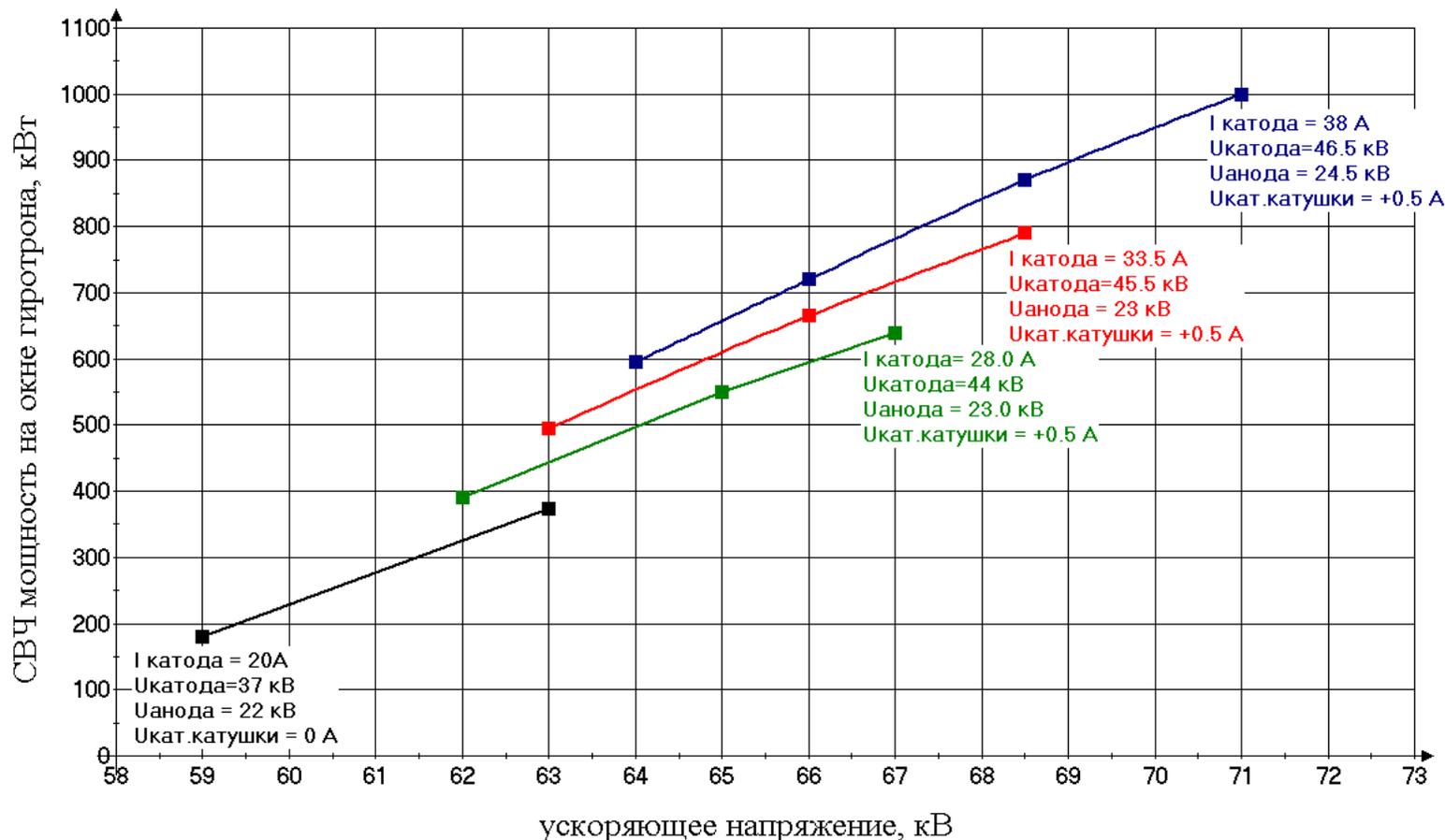
**Изготовлены все конструкционные элементы прибора.
Ведется подготовка откачной системы и испытательного стенда.**

Разработка гиротрона с рабочей частотой 230 ГГц для TRT, DEMO



Квазиоптический преобразователь с возможностью вывода мод разного вращения в разные окна или подачи стабилизирующего частоту сигнала от внешнего источника (гиротрона-драйвера)

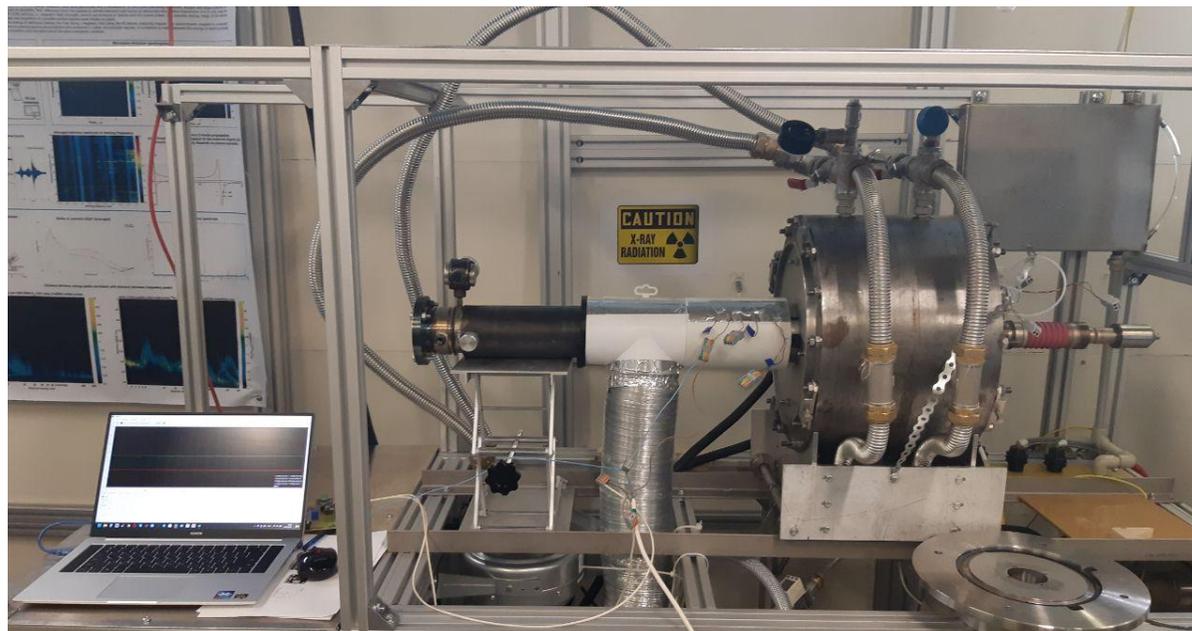
Разработка комплекса ЭЦР нагрева для Т-15 МД



**Рабочий тип колебаний $TE_{13,5}$, частота генерации 82.6 ГГц,
 выходная мощность до 1 МВт, эффективность до 57%,
 длительность импульса 30 с**

Идет согласование параметров гиротронов «второй очереди»

Технологический гиротрон с магнито-экранированной системой



$U = 24$ кВ

$I < 2.5$ А

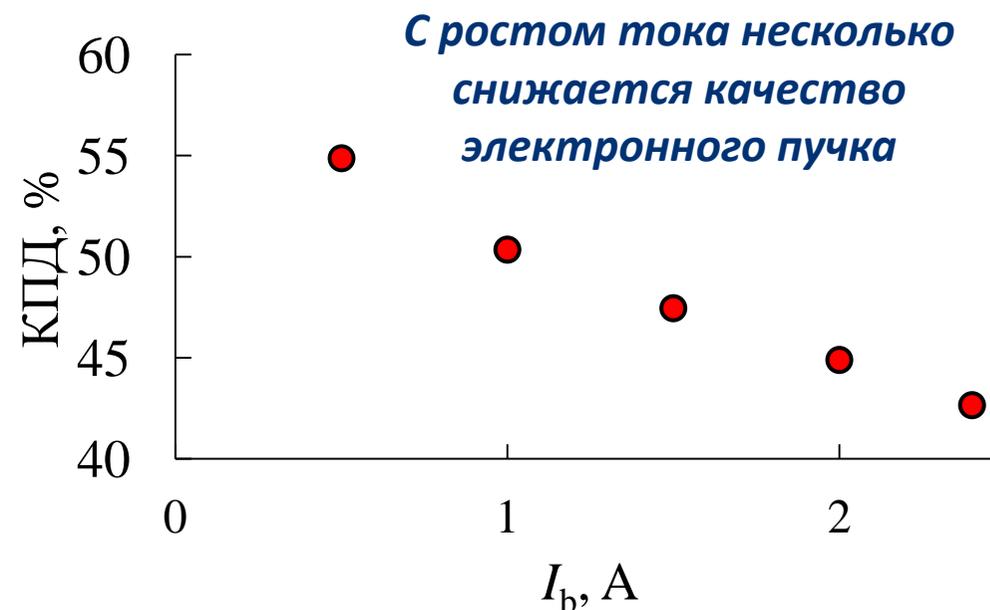
$f = 28$ ГГц

КПД генерации: до 55%

Мощность излучения: 25 кВт

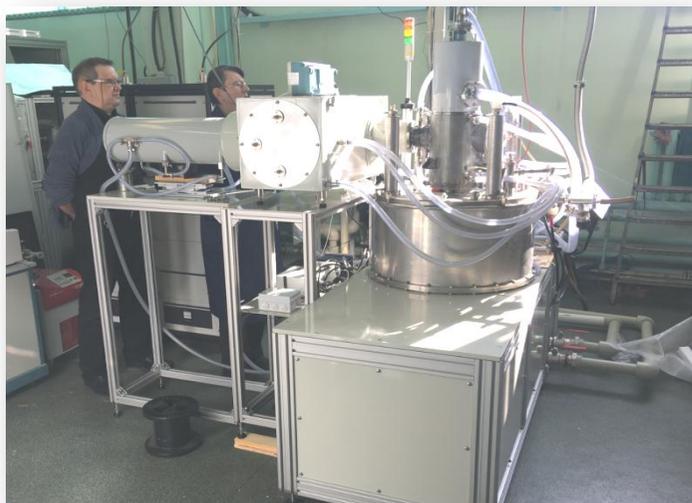
Магнитное поле: 1 Тл

В существующих комплексах типичный КПД генерации составляет 25-30%

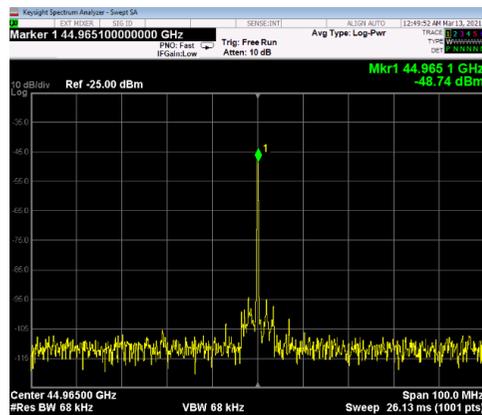


Гиротрон 45 ГГц/20 кВт

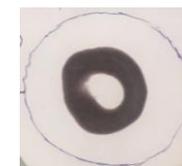
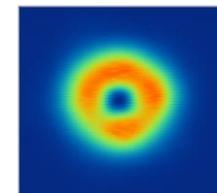
для нового поколения источников ионов



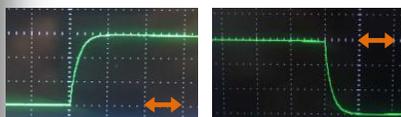
$f = 45$ ГГц
 Мощность >20 кВт



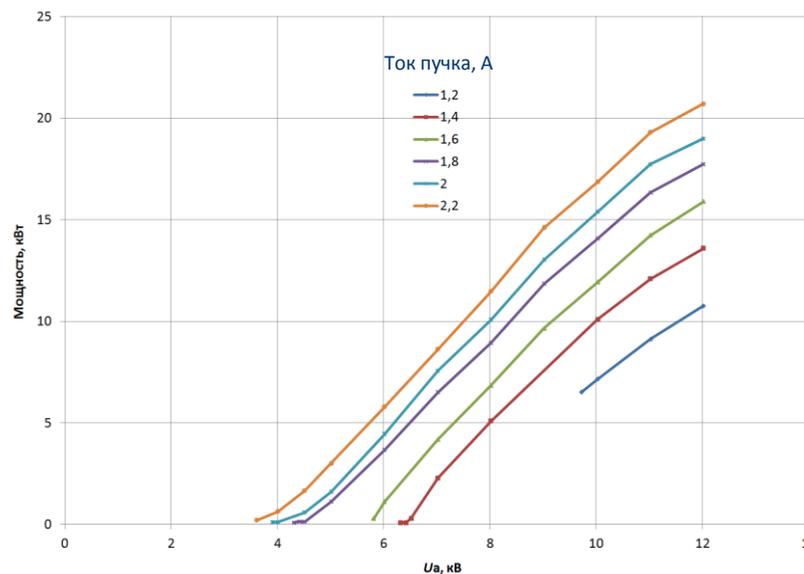
Модовый преобразователь
 $TE_{00} \rightarrow TE_{01}$
 (> 98%)



$U = 25$ кВ
 $I = 2.4$ А
 CW/импульсный
 5 – 200 мс, 1 – 10 Гц



4 мкс



Высоковольтные источники питания

Задачи этапов 2023-2024 годов

1. Анализ перспективных схем источников излучения для спектроскопии и диагностики различных сред в диапазоне частот 0.5 – 1 ТГц при уровне выходной мощности в десятки Вт;
2. Испытание импульсных источников излучения диапазона 0.5 - 1 ТГц кВт уровня мощности.
3. Испытание короткоимпульсного макета МВт гиротрона с частотой в диапазоне 230-260 ГГц.
4. Разработка релятивистских суб-ТГц (70-200 ГГц) черенковских генераторов поверхностной волны с мощностью не менее 100 МВт при длительности импульса 2-4 нс
5. Разработка гиротронов в частотном диапазоне 230-260 ГГц с мощностью не менее 0.2 МВт в непрерывном режиме генерации и не менее 0.5 МВт в режиме импульсов длительностью 50 мкс.

Объем финансирования 2023 года 282 176 900 рублей

1. Анализ перспективных схем мощных источников излучения с управляемым спектром, в том числе широкополосных и стабилизированных по частоте
2. Реализация источника широкополосного (3-5 ГГц) когерентного излучения диапазона миллиметровых волн с импульсной мощностью не менее 200 кВт.
3. Разработка и испытание усилителей коротковолновой части миллиметрового диапазона (центральная частота около 95 ГГц) киловаттного уровня средней мощности.
4. Испытание гиротронов частотного диапазона 230-260 ГГц для нагрева плазмы в установках УТС нового поколения при мощности не менее 0.2 МВт в непрерывном режиме генерации и не менее 0.5 МВт в режиме импульсов длительностью не менее 50 мкс.

Объем финансирования 2024 года 639 017 800 рублей

2025 - 2026

Создан и испытан гиротрон для нагрева плазмы в сферических токамаках с рабочими частотами в диапазоне от 25 ГГц до 45 ГГц мощностью 1 МВт и длительностью импульса не менее 10 секунд

2027 - 2028

Созданы и испытаны источники излучения для активной диагностики различных сред, в том числе непрерывный гиротрон с рабочей частотой 780 ГГц мощностью 30 Вт и широкополосные гироусилители

2029 - 2030

Создан и испытан гиротрон с частотой 230 ГГц мощностью 0.8 МВт с длительностью импульса не менее 100 секунд для нагрева плазмы в установках с сильным магнитным полем

Ежегодное финансирование работ по проекту оценивается в 450 млн. рублей (в ценах июля 2022 года), всего до 2030 года 2.7 млрд. рублей



Заключение

Работы 2022 года выполняются в соответствии с заданием. Разработаны и изготовлены ключевые элементы гиротронов, предназначенных для различных плазменных приложений.

Основной целью проекта на период до 2030 года является создание источников излучения с параметрами, определяющими мировой уровень развития вакуумной электроники больших мощностей. В частности, будет создан **непрерывный гиротрон мегаваттного уровня мощности** для установок ТРТ и ДЕМО.