



ООО «ПТЗП»



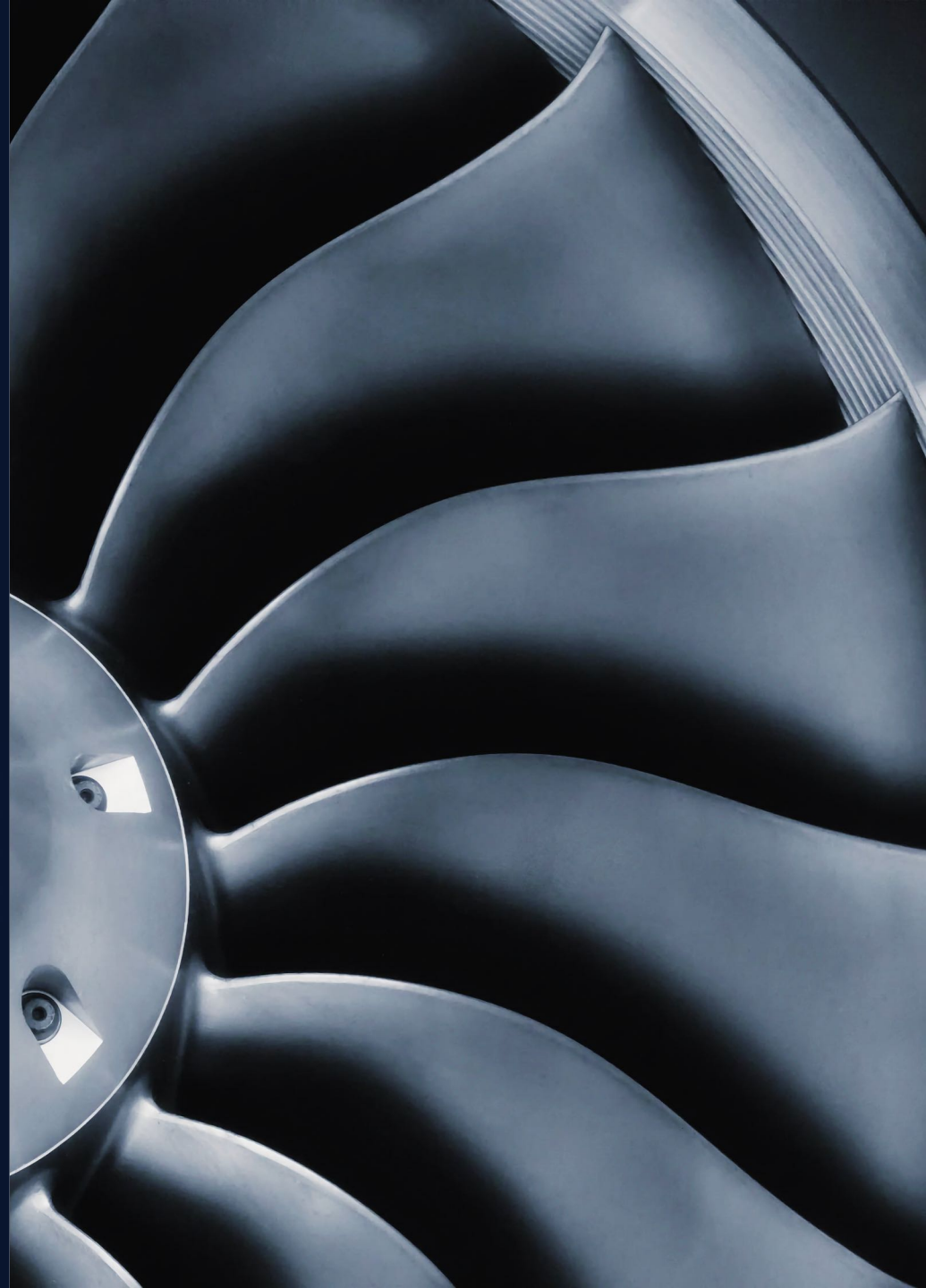
ОПН 1127921

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ
ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ
ТЕРМОБАРЬЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ С ВНЕШНИМ
КЕРАМИЧЕСКИМ СЛОЕМ И СВЯЗУЮЩИМ
СЛОЕМ НА ОСНОВЕ
ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА НА
ТЕПЛОНАГРУЖЕННЫЕ ДЕТАЛИ
ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ИЗ
ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Филяков А.Д.

тел.: +7 (903)-994-71-20

e-mail: filyakov.1999@mail.ru





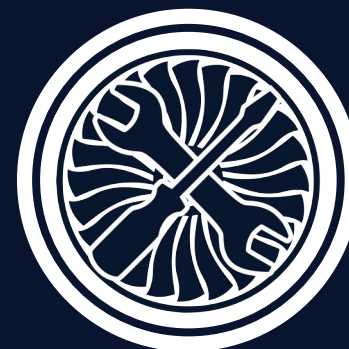
Вызовы и потребности



Международные
санкции

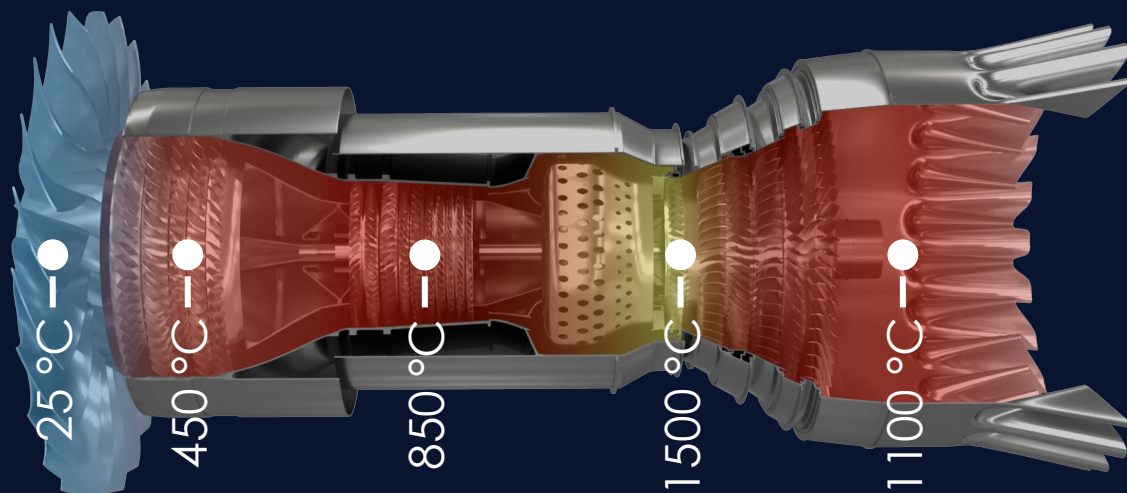


Технологическое
отставание



Снижение расходов
на ТОиР

Лопатки ТВД –
самый нагруженный
компонент





Предлагаемое решение



Нанесение многослойного термобарьерного покрытия при помощи метода электровзрывного напыления

Ожидаемая себестоимость нанесения покрытия на одну лопатку ~500 \$*

Стоимость новой лопатки ~16000 \$*

* для CFM56-5b/7b



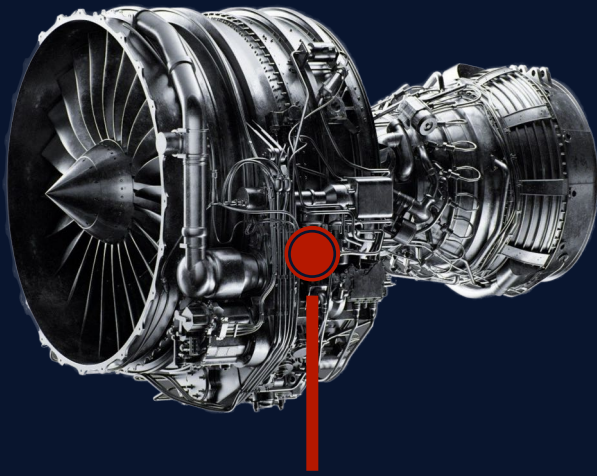
Преимущества предлагаемого решения

- Ремонт лопаток ТВД при помощи предлагаемого метода позволяет сэкономить **до 80 %** от стоимости покупки новой.
- При теплопроводности предлагаемого покрытия от 1,62 до 0,72 Вт/К*м ожидается увеличение межсервисных интервалов для лопаток ТВД от **4,5 до 36,5 %**.
- Отсутствие необходимости создания глубокого вакуума или использования инертных газов.
- Снижение капитальных затрат по сравнению с EB-PVD-технологией в **2–3 раза** за счет упрощённого оборудования и меньших требований к вакуумным системам.



РЫНОЧНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Отношение стоимости
нанесения покрытий к
стоимости авиадвигателя



0,5 – 3 %
20 – 280
тыс. \$

Целевые рынки

ГТУ



Авиадвигатели



ТОиР

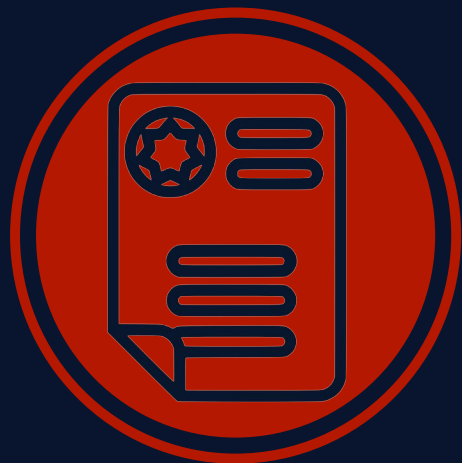


Потенциальные потребители

- Ростех (ПАО ОДК);
- S7 Technics;
- Аэрофлот техникс;
- ООО «РГТ»



Бизнес-модель



Лицензирование
технологии
нанесения
покрытий



Продажа
оборудования для
электровзрывного
напыления



Продажа
материалов
электровзрывного
напыления



Инжиниринг и
консалтинг



Команда



Филяков Артем Дмитриевич

Руководитель проекта

СибГИУ. Аспирант. Физика конденсированного состояния



Чумачков Илья Игоревич

Научный сотрудник, материаловед

СибГИУ. Аспирант. Сварка и родственные процессы



Технологическая зрелость решения

TRL 2

Подтверждение жизнеспособности предлагаемого решения. Нанесение тестовых покрытий. Определение ключевых параметров.

Металлографические исследования.

Исследование фазового состава.

Испытание на термический шок и термоциклирование.

Выход на TRL 3. Достижение MVP. Q4 2025.



Q1 2023

Инициация проекта.
Сбор информации.

Q3 2023

TRL 1. Определены
фундаментальные
требования проекта

Q4 2024

Получен грант на
развитие проекта.
Зарегистрировано
ООО «ПТЗП».

Q3 2025

TRL 2. Отработан метод
электроэрозивного
нанесения покрытий.

Q4 2025

TRL 3. Исследования
подтверждают
работоспособность
концепции.

Q3 2026

TRL 4. Завершен полный
цикл исследования
покрытий.

Q2 2027

TRL 5. Разработан
прототип промышленной
электроэрозивной
установки.

Q4 2027

TRL 7. Отработана
технология получение
покрытий на реальных
лопатках ТВД.

Q1 2028

TRL 8. Технология готова.
Покрытия проверены в
реальных условиях.

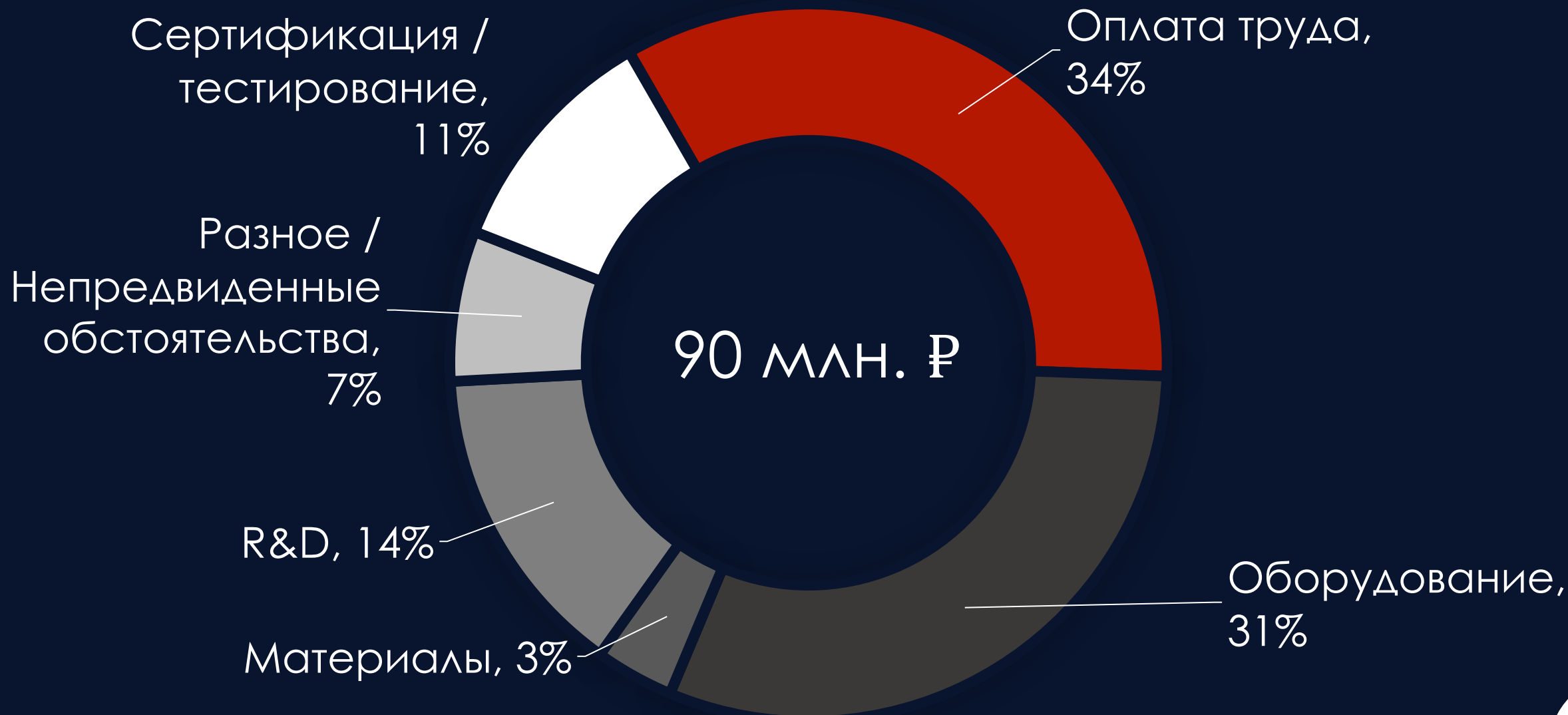
Q4 2028

TRL 9. Работоспособность
в реальных условиях
подтверждена. Выход на
рынок.

Дорожная карта



Необходимое финансирование





ООО «ПТЗП»



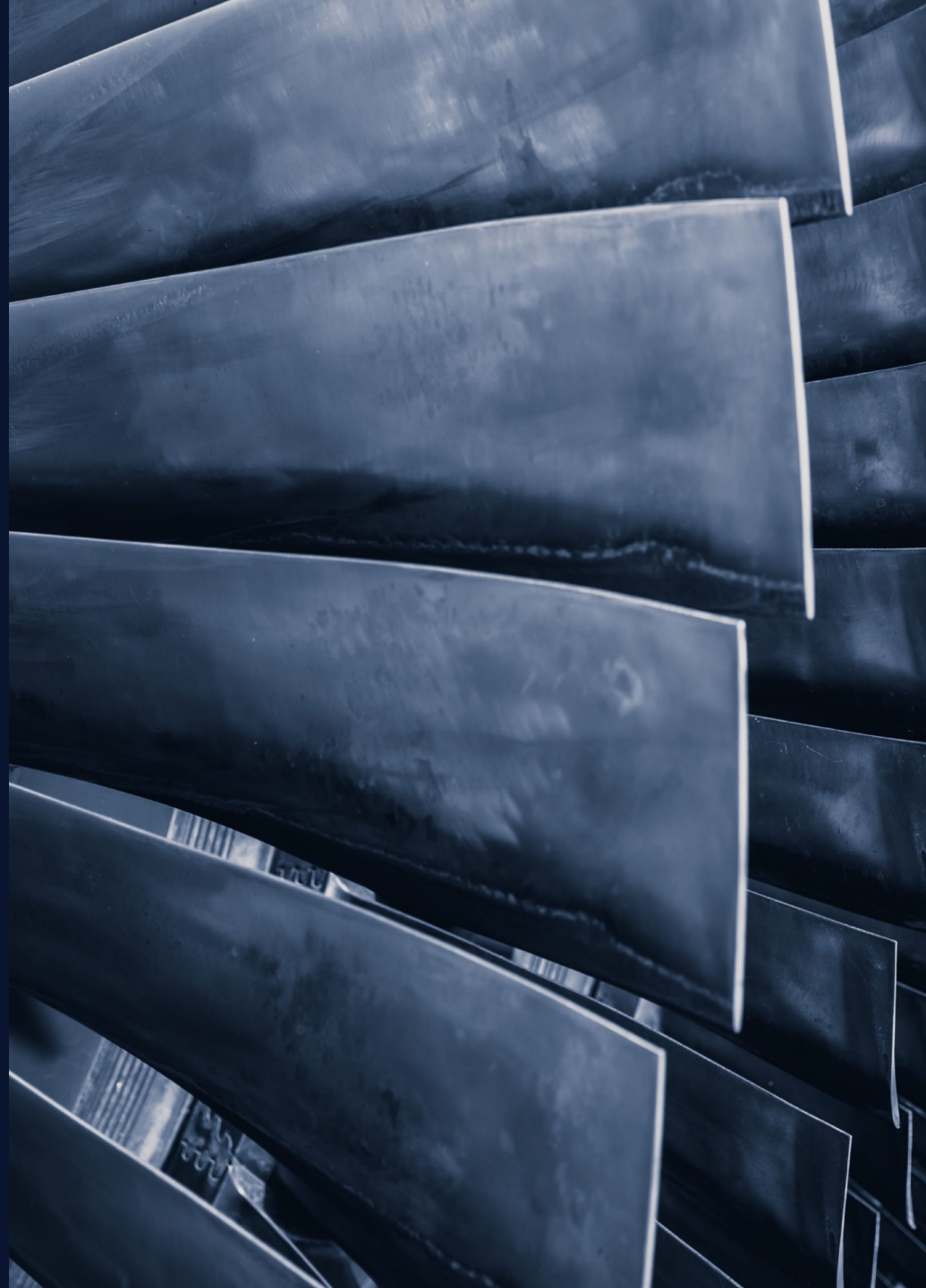
ОПН 1127921

Спасибо за внимание!

Филяков А.Д.

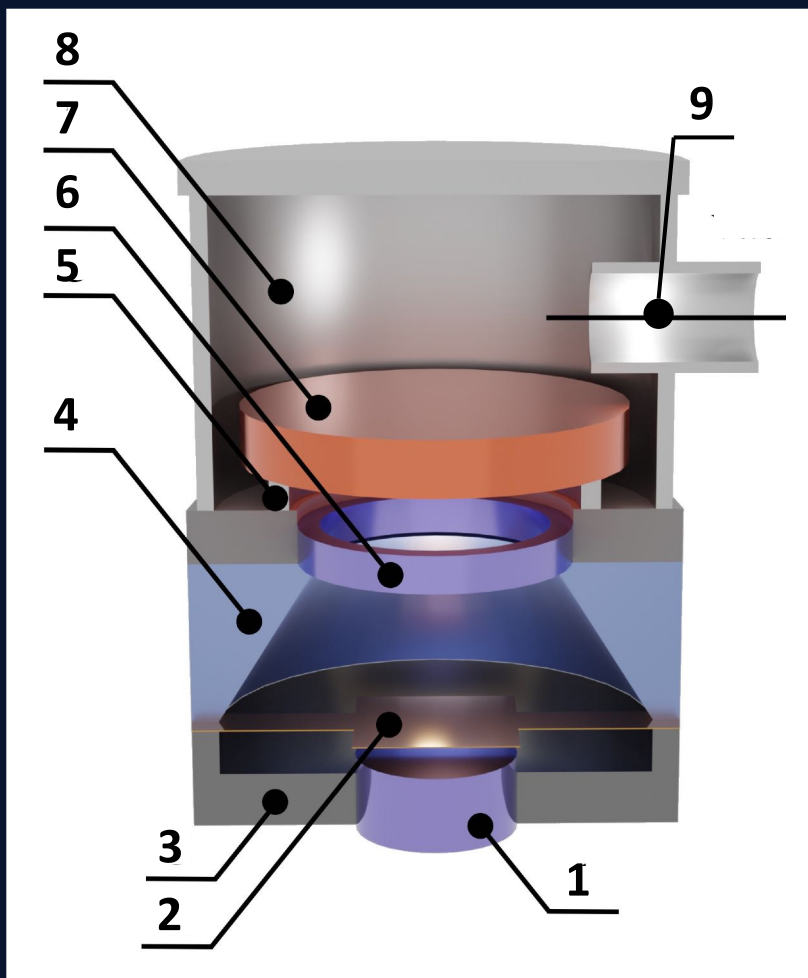
тел.: +7 (903)-994-71-20

e-mail: filyakov.1999@mail.ru





Приложение 1. Схема электровзрывной камеры

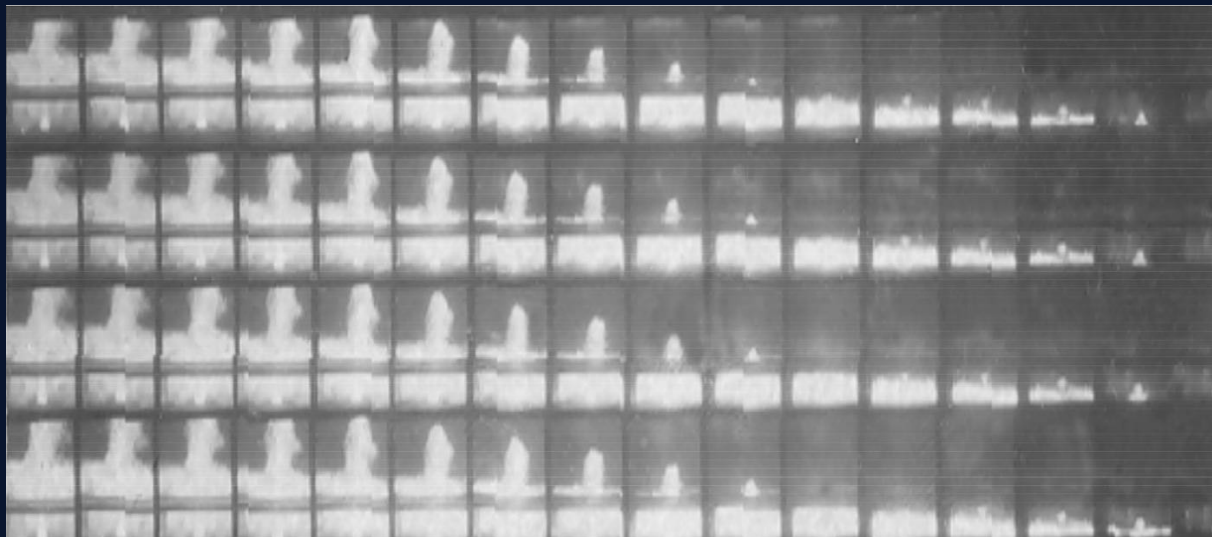


Схематическое изображение плазменного ускорителя установки :

- 1 – внутренний цилиндрический электрод;
- 2 – композитный электровзрываемый проводник;
- 3 – изолятор;
- 4 – разрядная камера (сопло);
- 5 – держатель образца;
- 6 – внешний кольцевой электрод;
- 7 – образец;
- 8 – вакуумная камера;
- 9 – Система откачки воздуха.



Приложение 2. Процесс электровзрывного напыления



Однокадровые изображения зоны распространения плазмы. Размер каждого кадра $60 \times 60 \text{ мм}^2$. Интервал между кадрами 1 мкс. Начало распространения плазмы соответствует правому верхнему кадру.

Sarychev, Vladimir, et al. "Modeling of the initial stages of the formation of heterogeneous plasma flows in the electric explosion of conductors." *Current Applied Physics* 18.10 (2018): 1101-1107.

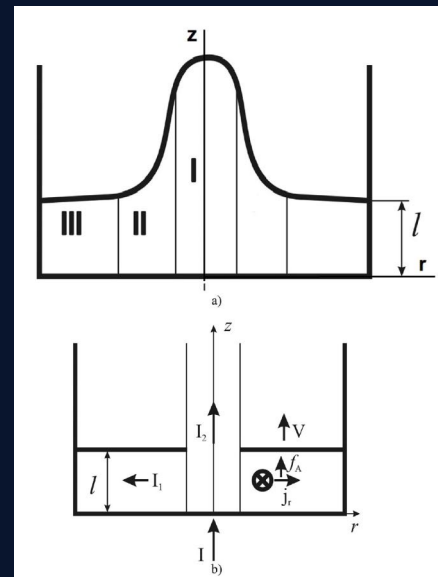
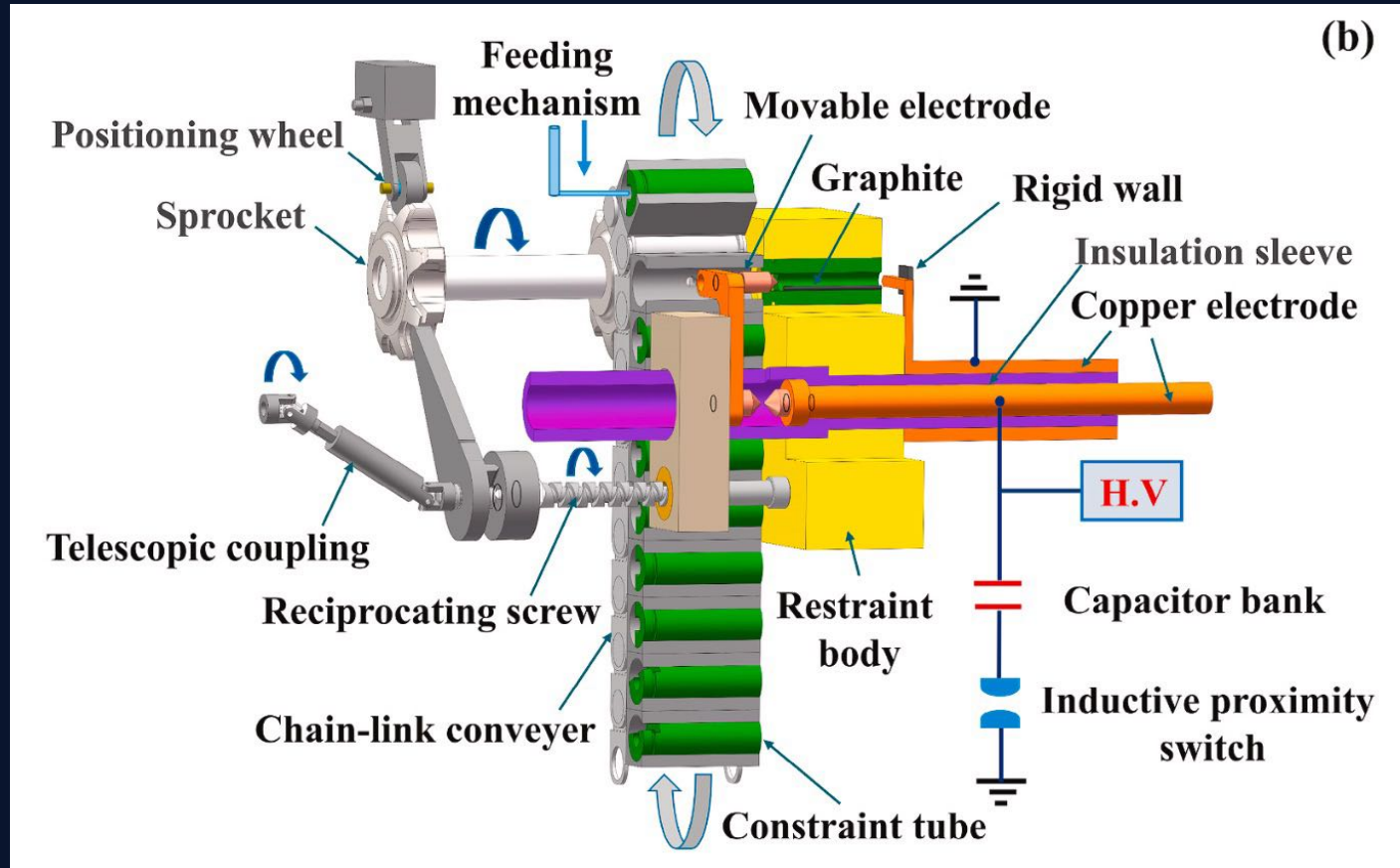


Схема распространения плазмы (I – плазменный фокус, II – зона поворота плазменного потока, III – зона параллельного течения) (а), Картина распределения электрического тока в плазме (б) (I_1 , I_2 – токи на диске и вдоль оси соответственно, I – сила тока через батарею, V – скорость вдоль оси z , f_A – плотность силы Ампера).



Приложение 3. Пример трубчатой конструкции электровзрывной камеры

*



* Wang, Xudong, et al. "Synthesis of graphene nanosheets by the electrical explosion of graphite powder confined in a tube." *Ceramics International* 47.15 (2021): 21934-21942.



Приложение 4. SWOT анализ



Сильные стороны

- Увеличения срока службы лопаток ТВД ТРД и ГТ
- Увеличение тяги за счет увеличения рабочей температуры
- Увеличение интервалов между ТОиР



Слабые стороны

- Ограниченное число потребителей на внутреннем рынке
- Проблемы с выводом предлагаемой технологии на международный рынок
- Часть материалов производится только за границей



Сильные стороны

- Укрепление сотрудничества научно-исследовательских центров и промышленности
- Снижение зависимости авиационной промышленности от иностранных технологий



Угрозы

- Падение спроса на авиационную продукцию из-за внешних экономических факторов
- Отсутствие дальнейших инвестиций в проект