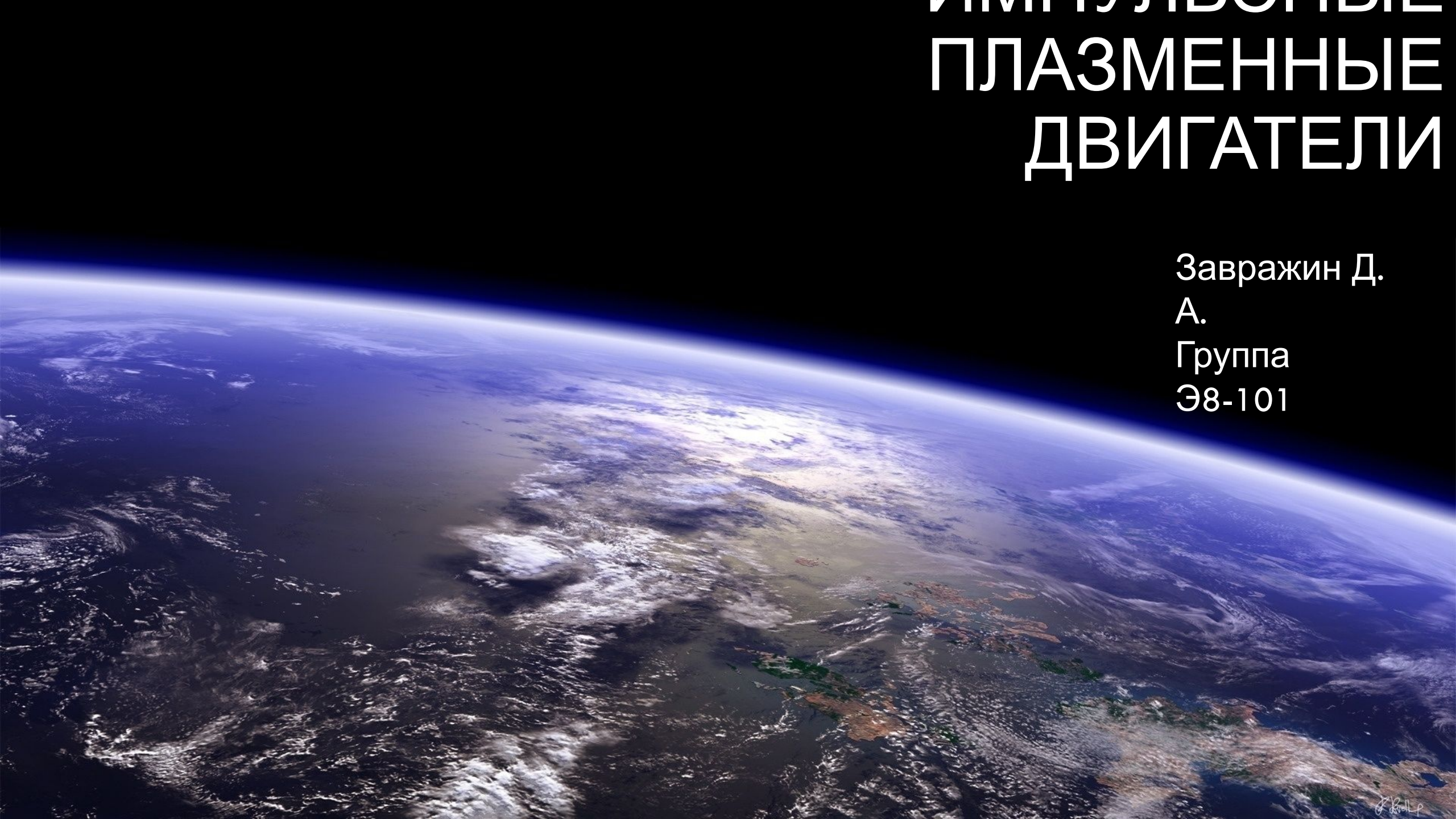
ИМПУЛЬСНЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ДВИГАТЕЛИ



Завражин Д. А.
Группа Э8-101

Достоинства и недостатки ИПД

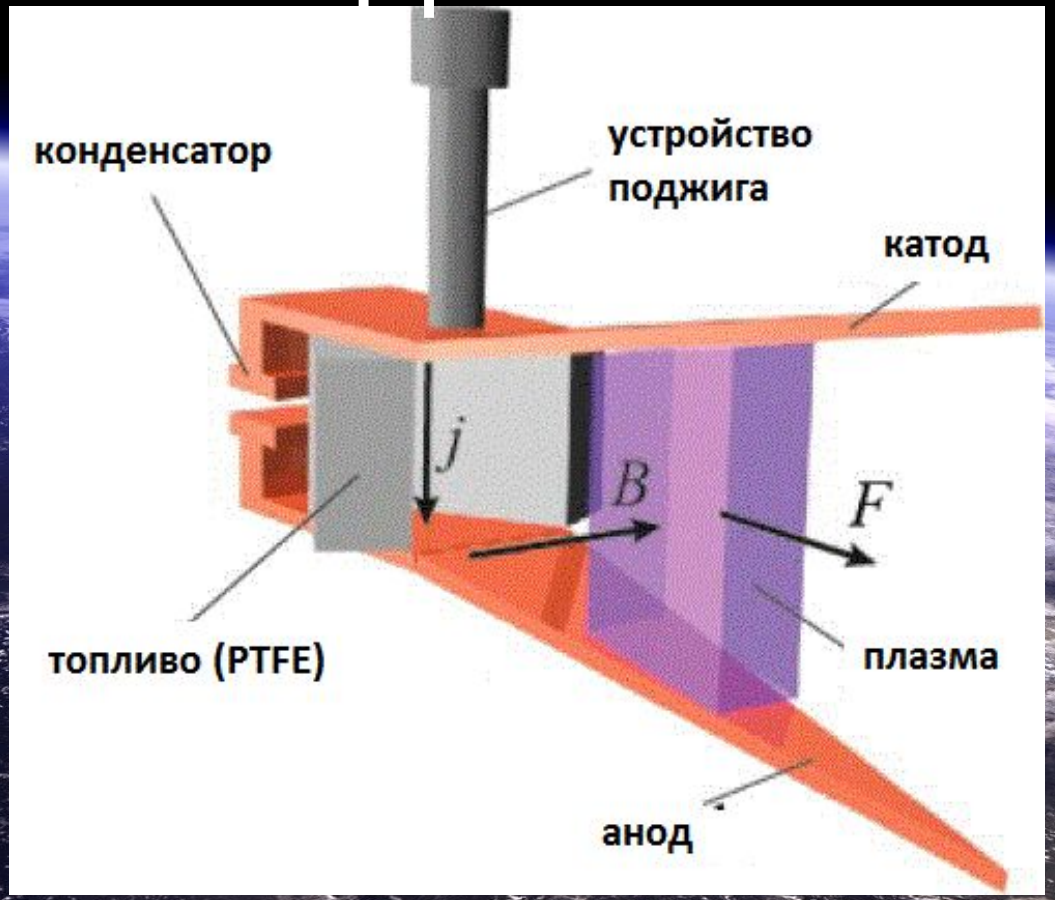
Достоинства:

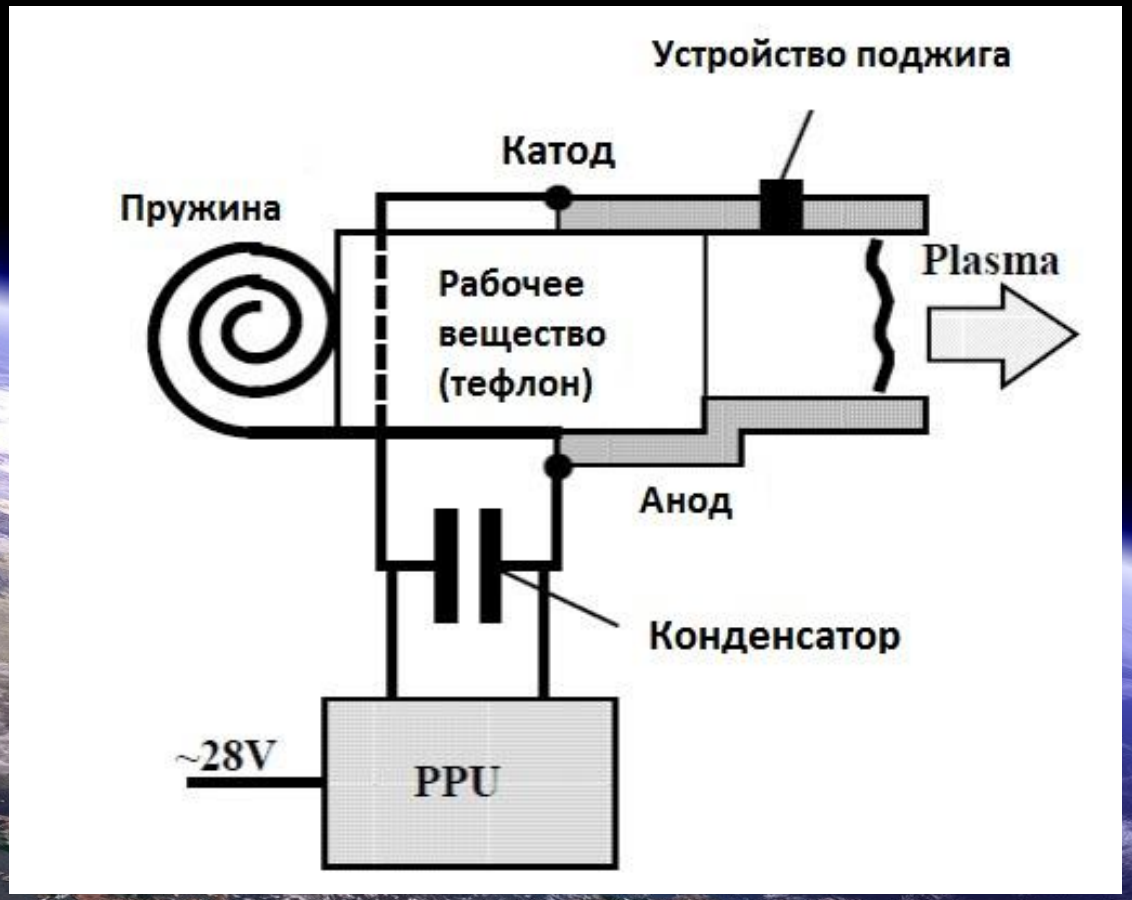
- Работает при низких напряжениях (24 – 30 В)
- Низкая потребляемая мощность (менее 150 Вт)
- Высокая надежность
- Постоянная готовность к работе
- Малая инерционность
- Практически полное отсутствие импульса последействия
- Достаточно высокий ресурс
- Линейный ход тяговой характеристики
- Простота конструкции

Недостатки:

- Из-за низкой тяговой эффективности (при запасаемой энергии ~ 100 Дж эффективность составляет ~ 20%) используется только на МКА
- Требуются конденсаторы с большими емкостями
- Малая мощность импульса

Конструкция ИПД и общая схема ИПДУ

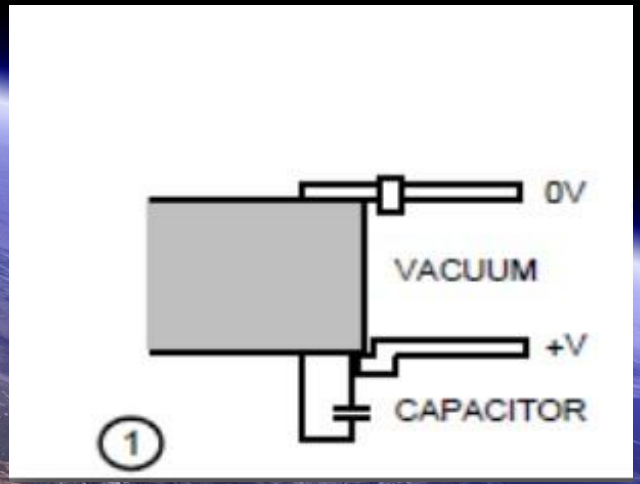




Этапы генерации импульса

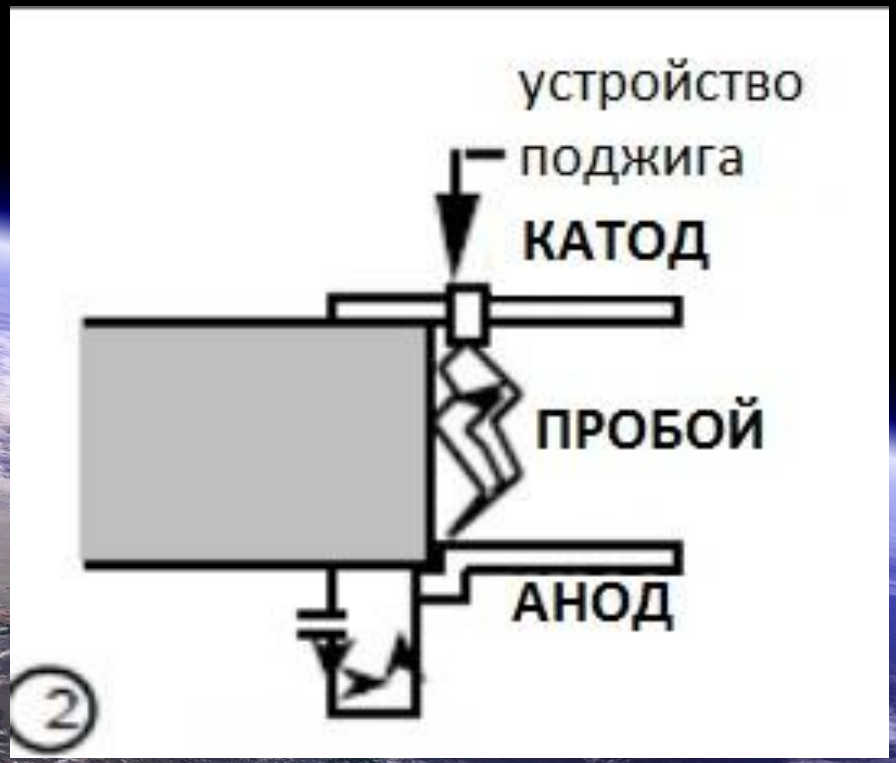
ПЕРВЫЙ ЭТАП

Конденсатор заряжен до максимального значения напряжения.
Но он не разряжается, так как напряжения недостаточно для пробоя между катодом и анодом.



ВТОРОЙ ЭТАП

- Устройство поджига генерирует искру, которая обеспечивает пробой.
- Разряд вызывает абляцию (унос вещества с поверхности) верхних слоев тефлона и последующую ионизацию паров материала.
- Конденсатор разряжается.

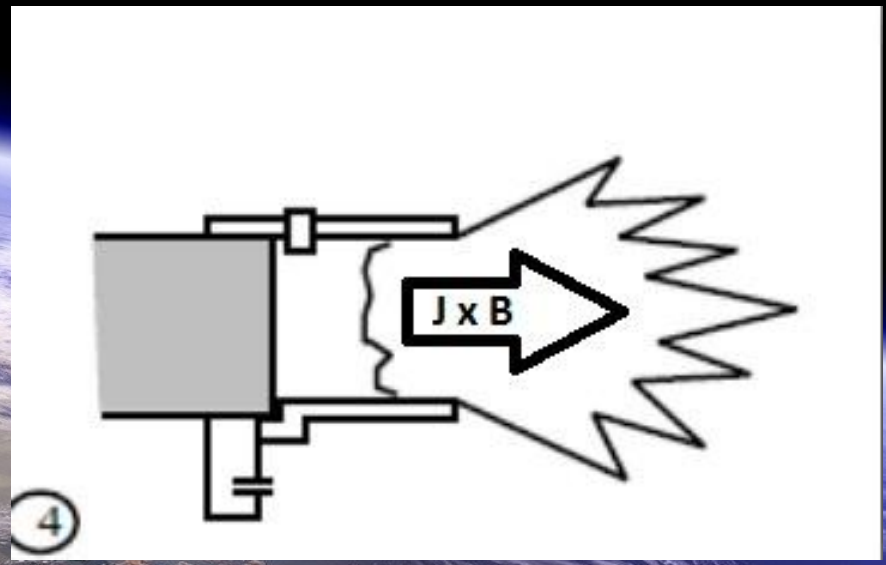


ТРЕТИЙ ЭТАП

- Основной разряд испаряет и ионизует тефлон переводя его в плазменный жгут (плазменный канал).
- Большие токи в канале генерируют сильное магнитное поле.

ЧЕТВЕРТЫЙ ЭТАП

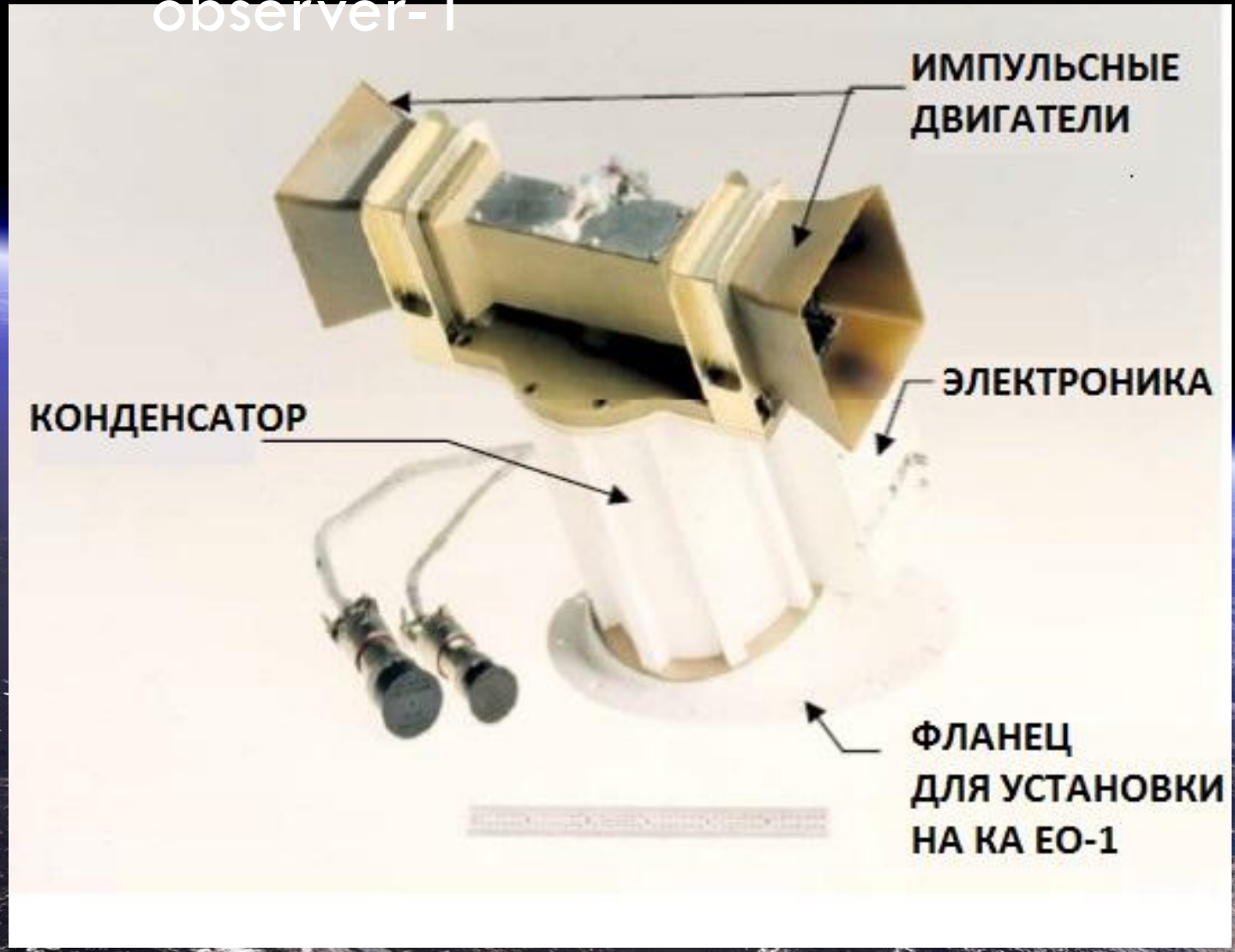
- В скрещенных электрическом и магнитном полях на плазму начинает действовать сила Лоренца (JxB).
- Эта сила обеспечивает ускорение и выброс плазмы из сопла двигателя.



КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ С ИПД

- Космический аппарат «Зонд 2», запущенный СССР в 1964 году
- Космический аппарат LES-6, запущенный США в 1968 году
- Спутники LES-8 и LES-9, запущенные США в 1976 году
- TIP II и TIP III – США, 1975 и 1976 год соответственно
- Аппараты «Нова-1», «Нова-3» и «Нова-2» – США, 1981, 1984 и 1988 год соответственно
- КА для обзора Земли «Earth Observer – 1» (EO-1), запущенный в 2000 году, использует один двухосный ИПД для управления положением оси и управления импульсом. ИПД для EO-1 был разработан в исследовательском центре Глен NASA и произведен компанией Primex Aerospace Company.

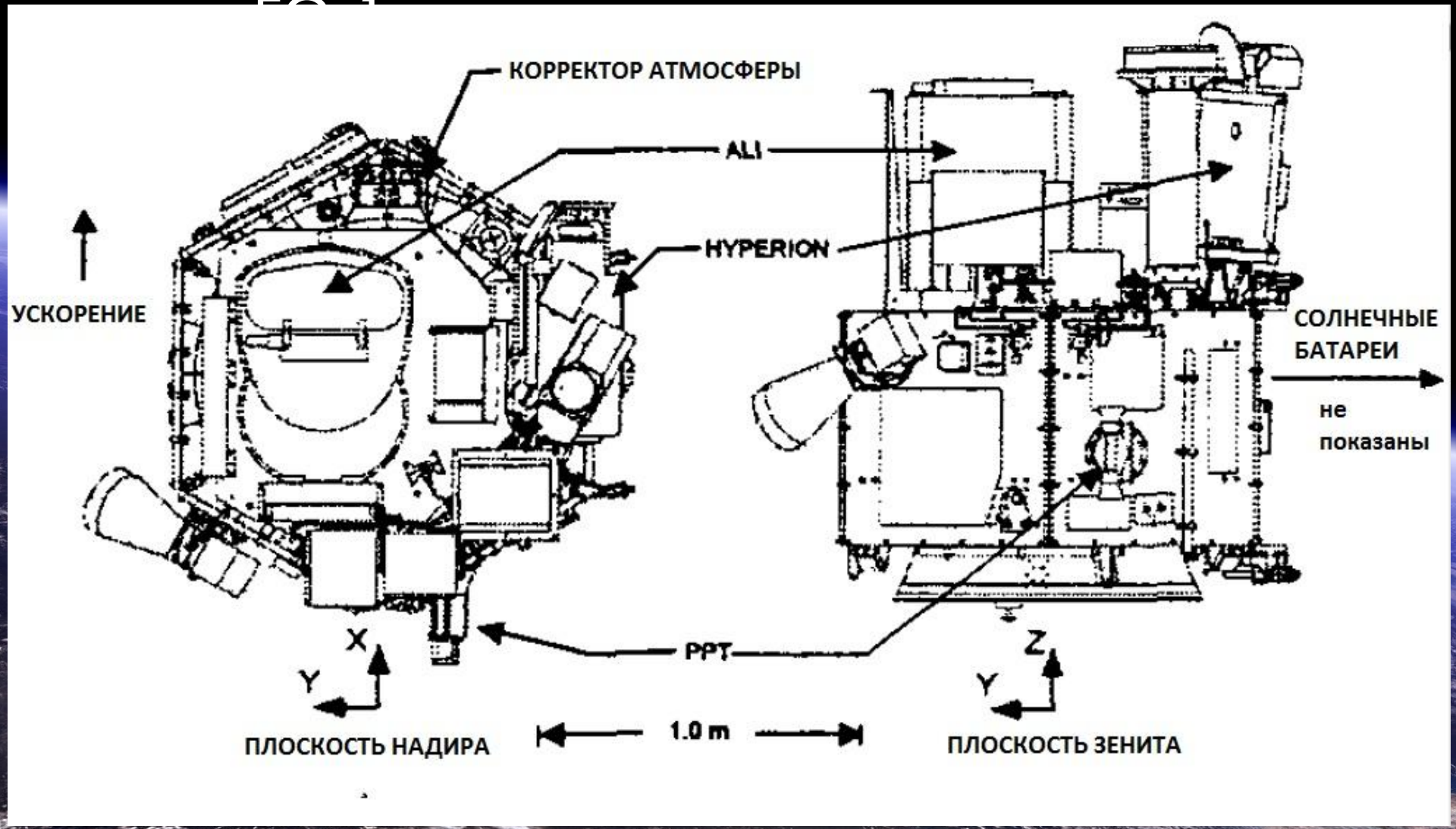
ИПД аппарата Earth observer-1



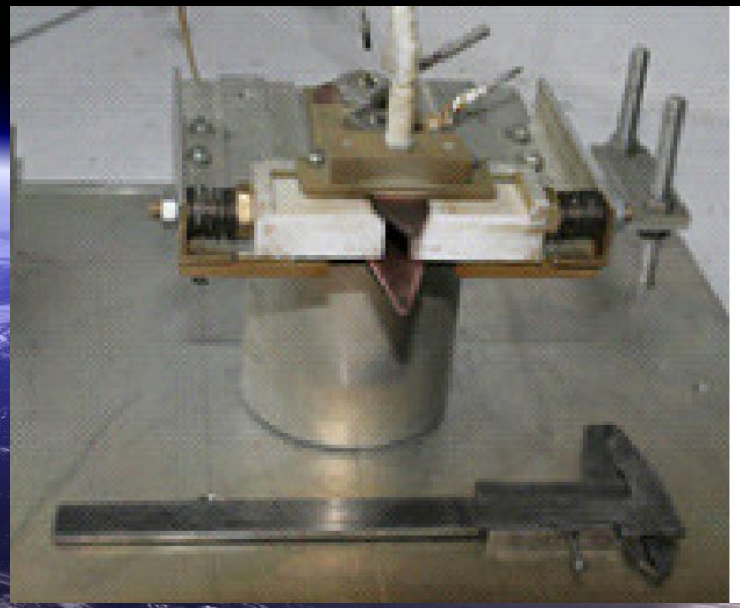
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИПД ЕО-1

Единичный импульс	90 – 860 мкН*с
Удельный импульс	650 – 1400 с
Частота импульсов	1 Гц
Энергия главного конденсатора	8,5 – 56 Дж
Энергетический КПД	8%
Общая масса	4,95 кг
Масса топлива	0,07 кг на одну сторону
Суммарный импульс	460 Н-с

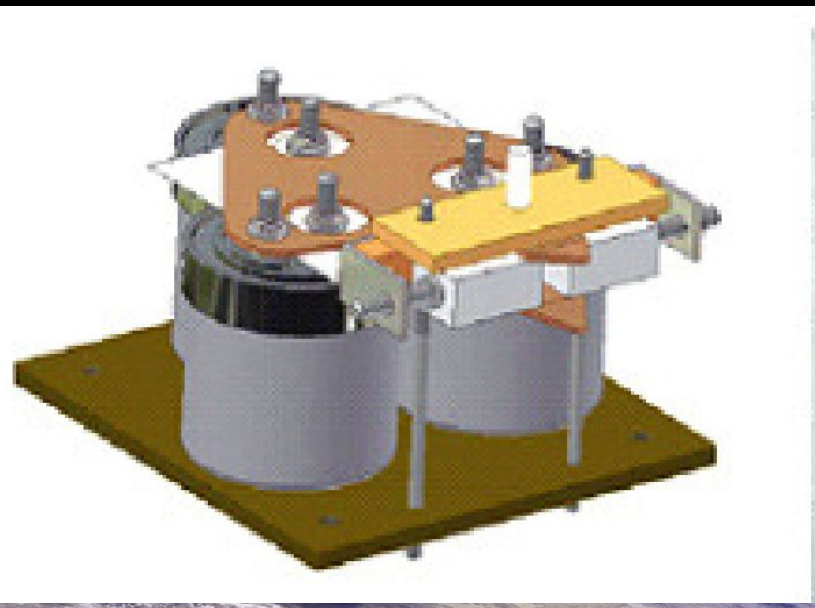
Схема компоновки спутника



АИПД разработки НИИ ПМЭ МАИ



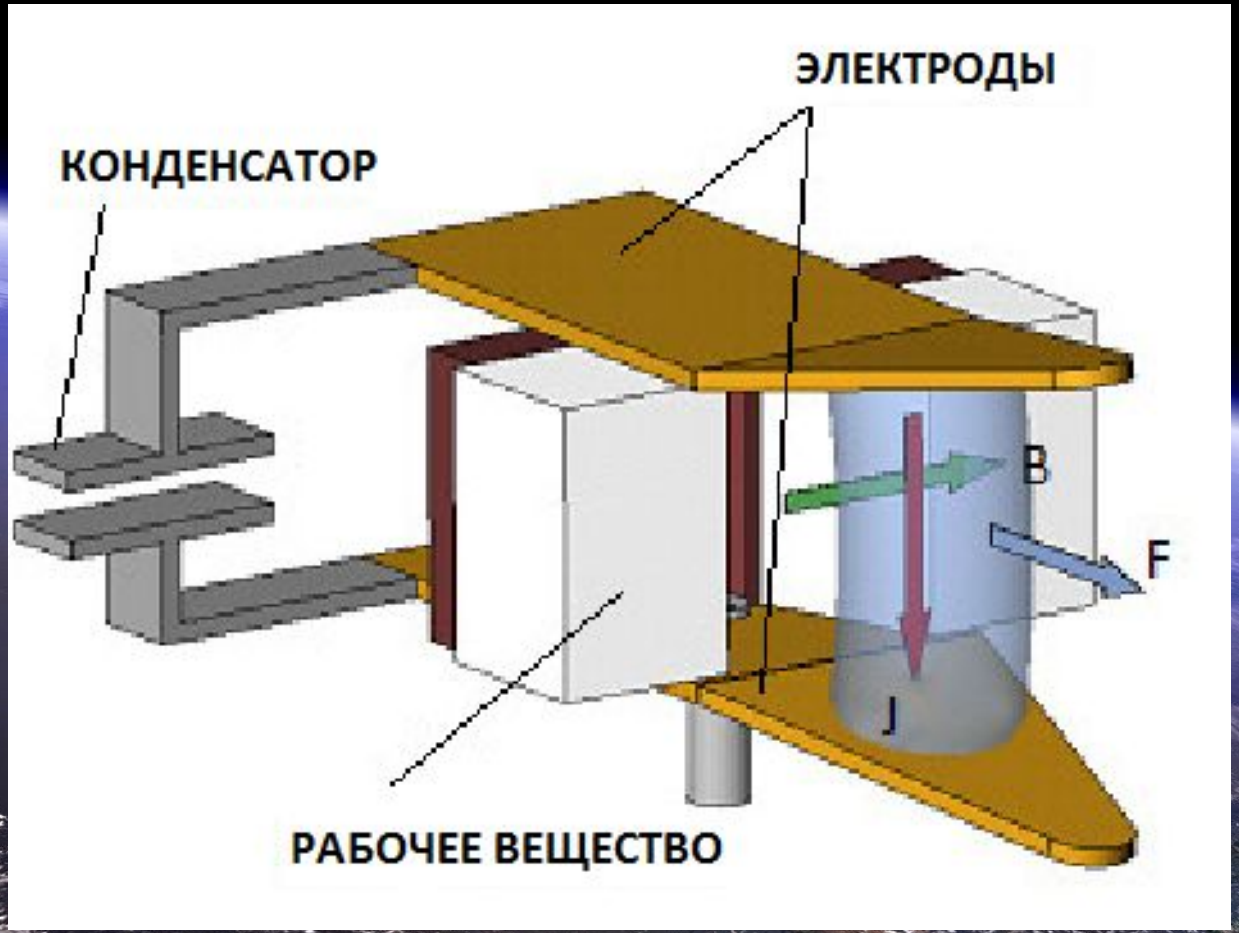
АИПД – 8



АИПД – 5-3б

АИПД – ИТ

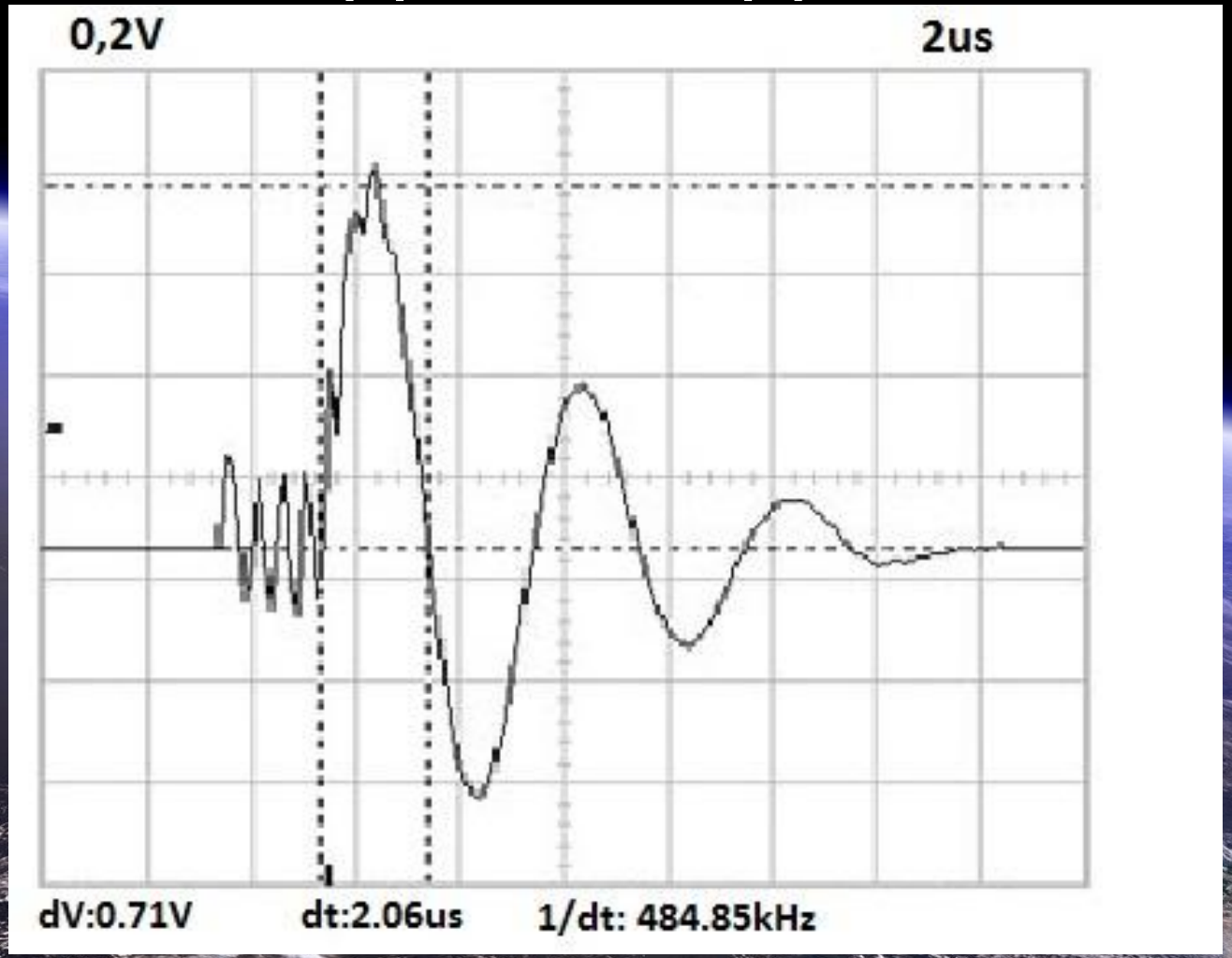
ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ИПД РЕЛЬСОВОЙ ГЕОМЕТРИИ С БОКОВОЙ ПОДАЧЕЙ ТОПЛИВА



ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛИ АИПД-5-3Б

Емкость	Напряжение	Частота	Ед. импульс тяги	Энергия	Мощность
C, мФ	U, В	f, Гц	мН*с	J, Дж	N, Вт
4,5	1500	5	0,1120	5,0625	25,3125
4,5	1400	5	0,0932	4,41	22,05
4,5	1300	5	0,0730	3,8025	19,0125
4,5	1200	5	0,0620	3,24	16,2
4,5	1100	5	0,0466	2,7225	13,6125
4,5	1000	5	0,0426	2,25	11,25

ТИПИЧНАЯ ОСЦИЛЛОГРАММА РАЗРЯДНОГО ТОКА С 5 ПОЛУПЕРИОДАМИ ДЛЯ АИПД-8



СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ АИПД

	АИПД-8	АИПД-5		АИПД-5-3б		АИПД-ИТ	
Энергия разряда, Дж	8,4	4,5	3,8	5,0	3,8	4,6	6,6
Потребляемая мощность, Вт	42,2	22,5	16,9	25	19	9,2	13,2
Единичный импульс тяги, мН-с	0,14	0,06	0,05	0,11	0,07	0,07	0,11
Расход рабочего вещества, мкг/импульс	33,7	не изм.	12,7	35,3	21,0	15,7	21,4
Удельный импульс, км/с	4,15	не изм.	3,94	3,12	3,33	4,46	5,14
Тяговая эффективность, %	3,4	не изм.	2,6	3,5	3,1	3,4	4,3

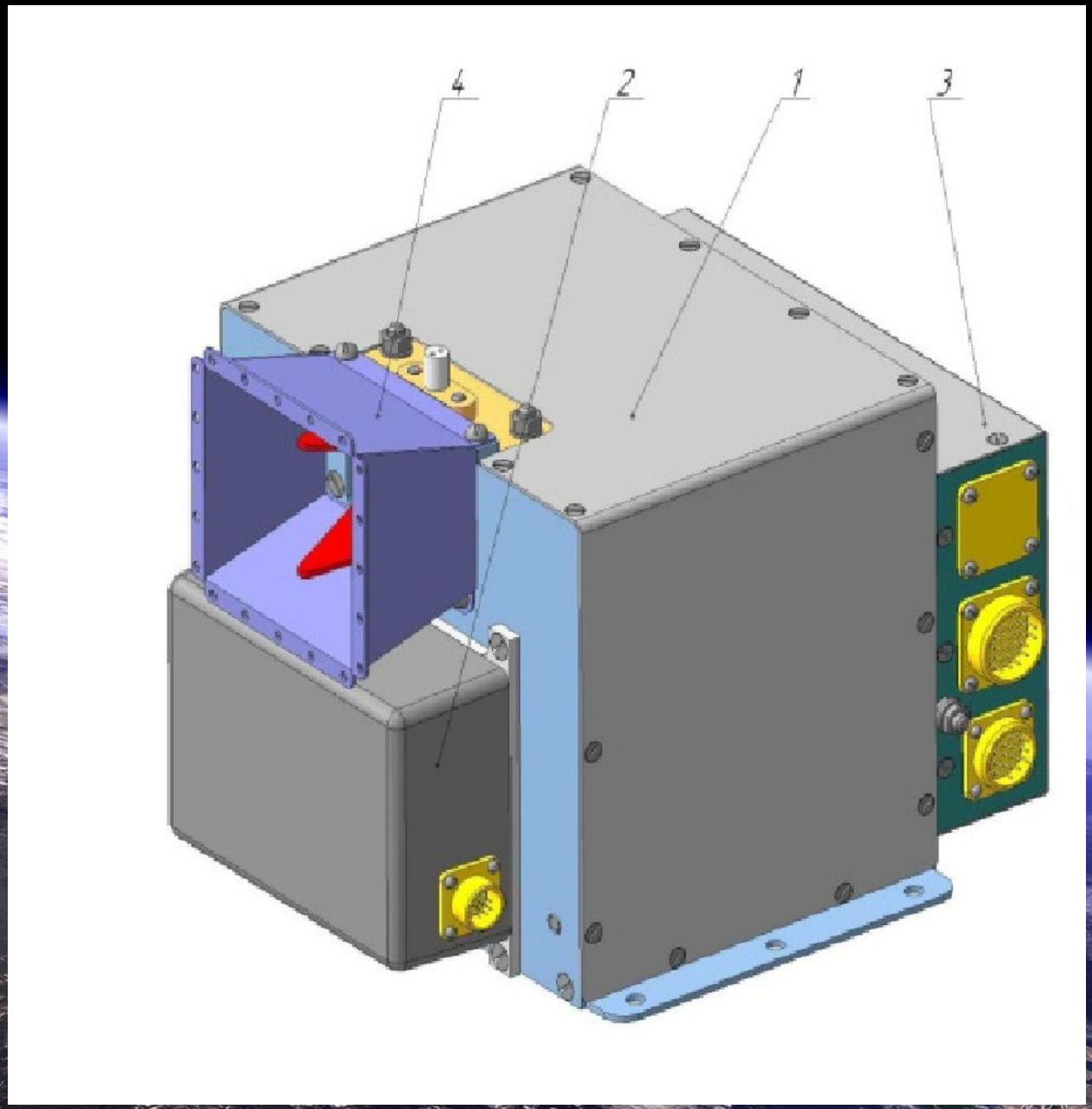
ФОРМА ВЫРАБОТКИ ШАШЕК

АИПД – 5-3б

АИПД – ИТ

ВНЕШНИЙ ВИД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ДУ ИПД-120

1 – блок накопителя энергии
2 – блок инициирования разряда
3 – система питания и управления
4 – разрядный канал

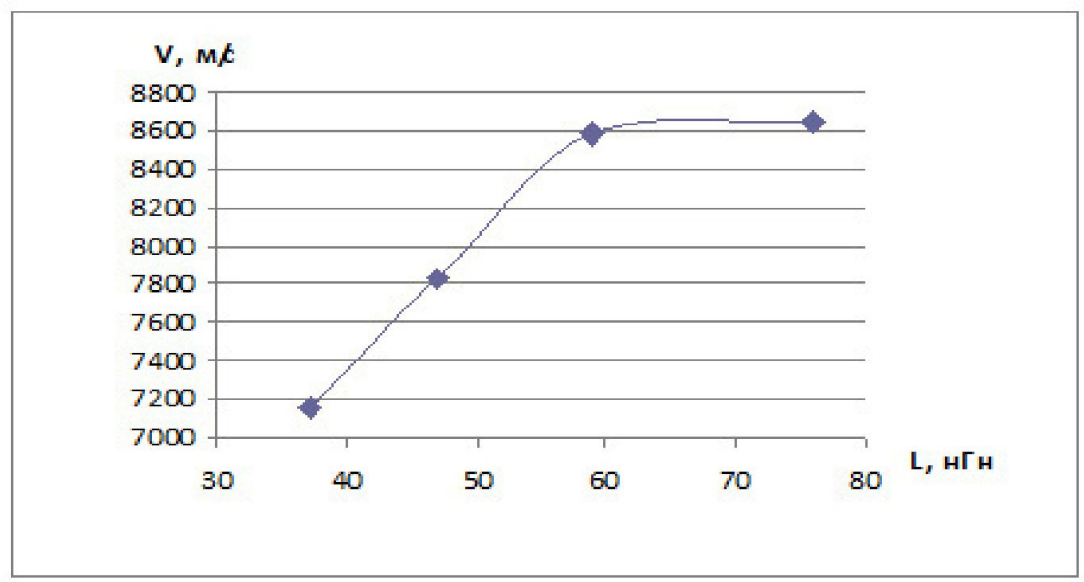


Характеристики ДУ ИПД-120

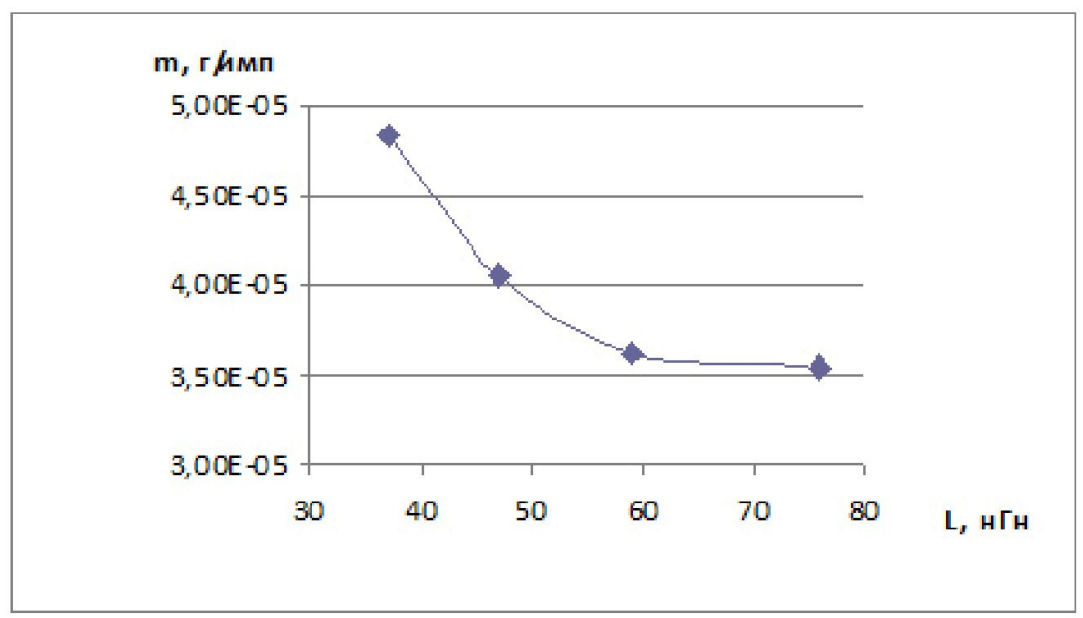
Энергия разряда	20 Дж
Единичный импульс тяги	0,345 мН·с
Потребляемая мощность	60 Вт
Средняя тяга	0,909 мН
Рабочее тело	Фторопласт-4
Ресурс по запасу рабочего тела	$2 \cdot 10^6$ имп

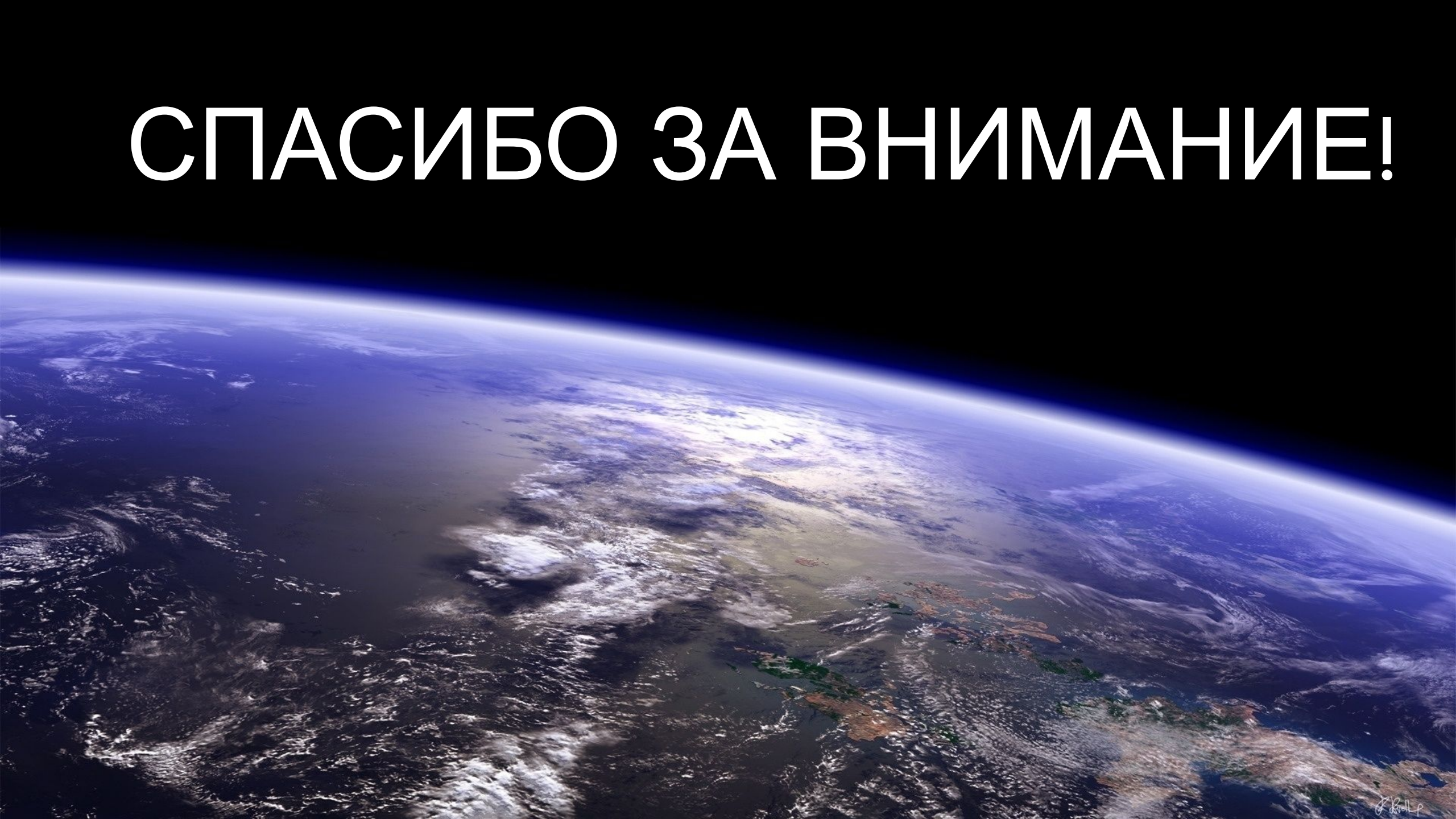
ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ИНДУКТИВНОСТИ

Зависимость удельного импульса от индуктивности



Зависимость расхода за один импульс от индуктивности



Тип двигателя	**Абляционный импульсный плазменный двигатель (АИПД)**							
Фирма	НИИ ПМЭ МАИ							
Наименование двигателя	АИПД-8	АИПД-5		АИПД-5-3		АИПД-ИТ		ИПД-120
Уровень разработки	Лабораторная модель							Экспериментальный образец
Рабочее вещество	Фторопласт – 4 (тефлон)							
Энергия разряда, Дж	8,4	4,5	3,8	5,0	3,8	4,6	6,6	20
Потребляемая мощность, Вт	42,2	22,5	16,9	25	19	9,2	13,2	60
Единичный импульс тяги, мН · с	0,14	0,06	0,05	0,11	0,07	0,07	0,11	0,345
Удельный импульс, с	423	-	402	315	340	455	425	727 ~ 867
Тяговая эффективность, %	3,4	-	2,6	3,5	3,1	3,4	4,3	-
Расход рабочего вещества, г/импульс	33,7	-	12,7	35,3	21,0	15,7	21,4	-

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!