

# Двигатели сверхмалых космических аппаратов

---



**ULNANOTECH**  
Ulyanovsk Technology Transfer Center

С начала XXI века минимальная масса и стоимость КА уменьшились до килограммов (нано, CubeSat) и граммов (фемто, ChipSat), а стоимость – до миллионов и десятков тысяч рублей.

Но отсутствие или низкая эффективность двигателей для них сдерживает их массовое применение, и обостряет проблему их деорбитинга и накопления космического мусора.

Основанием для начала проекта (2020 г.) являлись:

- Концепция основателя - использование космического мусора как энергоносителя в кинетических двигателях (первая презентация – конференция по космическому мусору ИКИ РАН, апрель 2019 г.);
- Контакты и сотрудничество с первым серийным производителем фемто-КА AmbaSat Ltd (2019-2020 г.г.).

### 3 Предлагаемое

Семейство двигателей и смежных технических решений, применимых на сверхмалых КА нано-фемто-класса современных и перспективных конструкций («младшие» модели являются прототипами для «старших»):

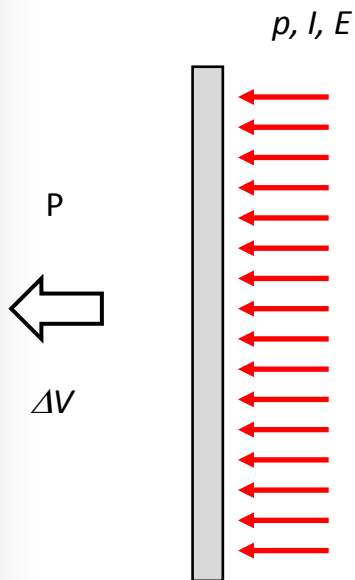
- Солнечные термосублимационные, термодесорбционные и термокаталитические и комбинированные двигатели микротяги «Импульс-С, Д, Т, ТС» (в т.ч. масштабируемые панельные для деорбитинга);
  - Импульсные двигатели «Импульс-У» (базовая модель);
  - Высокоэнергетические импульсные двигатели с внешними источниками энергии (в т.ч. кинетические двигатели) «Импульс-А» (в разработке);
  - Устройства для неразрушающего удаления фрагментов космического мусора с импульсными двигателями «Импульс-У»;
  - Учебные (модельные) версии двигателей для наземных работ, и т.п.
- Все модели взаимодополняемы, комбинируемы и масштабируемы.



## 4 Принцип работы

В общем случае двигатель включает отражатель и твердый блок рабочего тела (мишень), к которому осуществляется подвод энергии от внешнего или бортового источника энергии. Мишень может быть инертной или активной (в т.ч. из высокоэнергетических материалов с высокой скоростью газификации). Продукты газификации мишени воздействуют на поверхность отражателя, создавая тягу двигателя.

Двигатели отличаются конструктивной простотой и технологичностью, компактностью, малой массой, высокой надежностью и малой чувствительностью к повреждениям. «Старшие» модели позволяют развивать высокие ускорения в импульсе. Возможна последовательная смена режимов. После завершения работы двигателя не остается «лишних» элементов (отражатель интегрирован в конструкцию КА).



Общий мировой рынок – более \$5 млрд. (оценка АО РВК 2019 г.).

Общий российский сектор – до 6,5 млрд. руб. (~ 2% мирового).

Доступные зарубежные рынки дружественных и нейтральных стран (Индия, Ближний Восток, Африка, Центральная и Южная Америка...) – до 15 млрд. руб. (> 4% мирового).

Ближайшие цели – российский рынок двигателей научно-образовательных и научно-технологических сверхмалых КА (включая наземные учебные версии): конец 2023 г. – от 30-40 млн. руб., 2025 – г. - 200-250 млн. руб.

Доступные зарубежные рынки дружественных и нейтральных стран – всего до 500 млн. руб. в 2025 г.

При благоприятном изменении внешнеполитической ситуации к 2024 г. частично открываются «западные» рынки.

Основная бизнес-модель: с 2023-2024 г.г.

Продажа двигателей производителям космических аппаратов и другим заказчикам (B2B, B2B2G).

Услуги по проектированию двигателей.

Дополнительно:

Учебные курсы и программы космического образования.

Экспериментальные работы на стендовом оборудовании.

Расширенная бизнес-модель: с 2025 г. и далее

Продажа технологий и лицензий производителям космических аппаратов и другим заказчикам (B2B, B2B2G) – модель КБ.

Продажа изделий частным лицам (B2C, B2B2C).

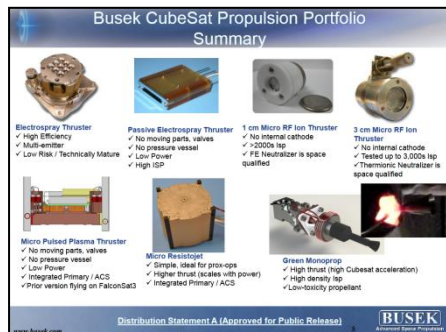
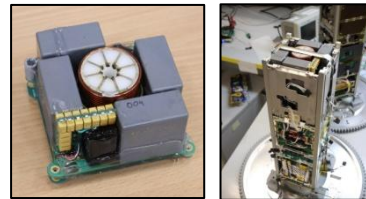


Таблица 3. Специальные ДУ и РДМТ

№ п/п	Наименование (рабочее тело)	Параметры
1	ДУ с РДМТ (закись азота)	МКА, КА класса «Микро», $P = 0,5 \dots 50$ Н, $I_p = 1950$ м/с, $I_{\Sigma} \leq 5 \cdot 10^3$ Н·с ( $W = 100$ Вт)
2	ДУ с электронгревными двигателями (аммиак)	КДУ для МКА, КА класса «Нано», $P = 5 \cdot 10^1$ Н, $I_p = 1800$ м/с, $V_{\text{max}} = 60$ м/с, ( $W = 360$ Вт)
3	ДУ с абляционными импульсными плазменными двигателями (тефлон)	КДУ для МКА, КА массой 20...500 кг, $P = 3 \cdot 10^1$ Н, $I_p = 11000$ м/с, $I_{\Sigma} \leq 5 \cdot 10^3$ Н·с, ( $W = 150$ Вт)
4	ДУ со стационарными плазменными двигателями (ксенон)	МКА, $P = 0,1$ Н, $I_p = 10000$ м/с, $I_{\Sigma} \leq 5 \cdot 10^4$ Н·с
5	ДУ с РДМТ на газообразном водороде и кислороде – продуктах электролиза воды	От МКА до КА «Нано» класса, $P = 0,8(1)$ Н, $I_p = 3000$ м/с, $I_{\Sigma} \leq 10^4$ Н·с

CubeSat Propulsion System	Size (U)	End/Center Mount	Propellants	Thruster type	Thrusters	Nominal Thrust (mN)	Total Impulse (N·s)
PUC	0.14U-1U	End	R236FA/ SO2	Warm Gas	1	5.4	595
CPOD	1U	Center	R134a/ R236FA	Cold Gas	8	25	186
MarCO	2U	End	R236FA	Cold Gas	8	50	755
Green Mono Prop System	0.5-1U+	End	ADN/AF- M315E	Mono- Prop	4	400	3320
End mounted standard	0.25-1U	End	R134a/ R236FA	Cold Gas	5	10	312
Hybrid Green Monoprop	0.5-1U+	End	ADN/AF- M315E	Mono- Prop Cold	1 Hot, 4 Cold	100	783
Standard	0.3-1U	End	R134a/ R236FA	Cold Gas	5	10	250
MEPSI	0.25U	End	Isobutane	Cold Gas	5	53	23
Palomar	1U	Center	Isobutane	Cold Gas	8	35	85



## VERA (Volume-Effective Rocket-propulsion Assembly), НИЯУ МИФИ

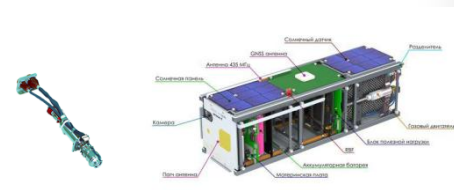
Таблица 1. Классификация космических аппаратов по массе

№ п/п	Класс КА	Масса КА (кг)	Примечание
1	Тяжелый класс	$\geq 6000$	ДУ и РДМТ для этого класса КА определены и апробированы
2	Средний класс	1500...6000	ДУ и РДМТ для этого класса КА определены и апробированы
3	Малый класс (МКА)	500...1500	
4	Класс «Мини»	100...500	
5	Класс «Микро»	10(20)...100	
6	Класс «Нано»	1...10(20)	
7	Класс «Пико»	$< 1,0$	ДУ и РДМТ для этого класса КА не созданы
8	Класс «Фемто»	$< 0,1$	ДУ и РДМТ для этого класса КА не созданы

Цитирование: Рыжков В.В., Сушинов А.В. Двигательные установки и ракетные двигатели малой тяги на различных физических принципах для систем управления малых и сверхмалых космических аппаратов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2018. Т. 17, № 4. С. 115-128. DOI: 10.181287/2541-7533-2018-17-4-115-128

## Конкурирующие решения:

- тяжелые, объемные, энергоемкие, требуют дополнительных систем
- преимущественно зарубежные производители
- дорогие (от 0,5 млн. руб. до \$ 100 000)



## Газовый двигатель, ОКБ «Факел»

Доступны для самых легких и дешевых КА (от фемто-класса).

Маневры в 2 и более раза дешевле аналогов.

Не остается нефункциональных элементов после маневра.

Технологичны.

Надежны. Энергоэффективны.

Есть доступные модельные версии (для наземных стендовых и работ и пусковых испытаний).

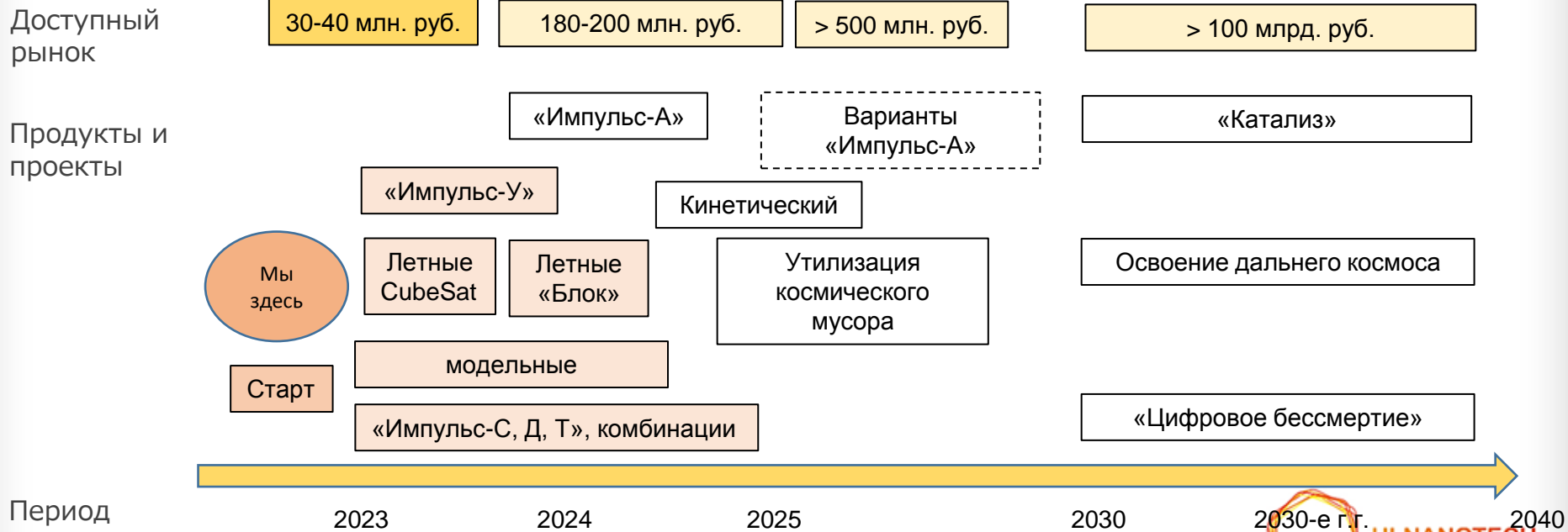
Могут обеспечивать маневры с высоким ускорением (изменением скорости).

	«Импульс-У» (прототип «Д-Старт», 2022 г.)	Электрореактивная ДУ на аммиаке (прототип ОмГТУ, 2022 г.)
Режим	Одноимпульсный большой тяги	Непрерывный/ импульсный
Ускорение	Высокое	Микро
Время маневра (работы двигателя)	Менее секунды	Часы-сутки
Минимальная масса космического аппарата	От ~ 10 грамм	От ~ 3 кг
Минимальный объем	< 0.1 U, tuna can	1 U
Потребляемая мощность	~ 0	~ 160/5-30 Вт
Стоимость	20 - 450 тыс. руб.	От 530 тыс. руб.



# 9 Дорожная карта

## Дорожная карта развития проекта от разработки продукта до выхода на рынок



## Руководитель проекта, научный руководитель проекта:

Новосельцев Д.А., к.т.н., академический советник РИА.

Автор проекта, основатель, ген. директор ООО «Д-Старт», руководитель НИОКР по договору №. 3626ГС1/60541 от 24.07.2020 г.

## Команда:

- Старинова О.Л., д.т.н., проф. каф. Динамики полета и систем управления Самарского университета, консультант по баллистике, внештатный участник НИОКР по договору №. 3626ГС1/60541 от 24.07.2020 г. .
- Седанова А.В., к.х.н., с.н.с. филиала ЦНХТ ИК СО РАН, г. Омск, консультант по химии, участник НИОКР по договору №. 3626ГС1/60541 от 24.07.2020 г.
- Щербина П.А., быв. начальник лаборатории перспективных ДУ ПАО «РКК Энергия», консультант по интеграции двигателя и КА.
- Астахов А.С., быв. руководитель группы по динамическим испытаниям импульсных двигателей ЛА в баллистической лаборатории МГТУ им. Н.Э. Баумана, консультант по испытаниям.
- Кальнеус В.А., резидент Сколково, изобретатель, бизнес-консультант.



Апрель 2022 г. - TRL 4-5.

Собственный мобильный стенд.

Стендовые испытания прототипов «Импульс-С», прототипа «Импульс-У» со стендовыми материалами мишени, пусковые ракетные испытания «Импульс-С» на макетах КА на пусковые нагрузки («Успешные ракеты», декабрь 2021 г.).

Сентябрь 2022 г. – до TRL 6.

Пусковые испытания в системе действующего макета КА CubeSat 3U и макета фемто-КА CubeSat 1U на летающем стенде (конкурс «Линия Кармана»).

Январь-февраль 2023 г.

Стендовые испытания прототипов «Импульс-Д», «Импульс-Т», прототипа импульсного двигателя «Импульс-У» с рабочими материалами мишени (для платформы КА «Астрономикон» CubeSat 3U и др.).

Соглашения и договоренности о применении двигателей с производителями «Астрономикон», «Специальный технологический центр», СПУТНИКС, «Стратонавтика», «Образование будущего» (конец 2022 – начало 2023 г.).

## Объём необходимого финансирования по этапам.

Потребности в финансировании:

Необходимый объем финансирования 1 этапа – от 11 млн. руб. в 2023 г.- 2024 (до летных испытаний и опытных поставок модельных и летных версий двигателей).

Актуальные потребности 1 этапа - от 3 млн. руб. в 1-й половине 2023 г. (за долю компании или долю прибыли, или на др. условиях).

Планируется получение гранта Фонда содействия инновациям Старт-2, 8 млн. руб.

При больших объемах финансирования реализуется расширенная линейка продуктов (включая двигатели «Импульс-А» с внешними источниками энергии) и выход на доступные зарубежные рынки.

# ULNANOTECH

инфраструктура для запуска и развития технологических  
стартапов

