

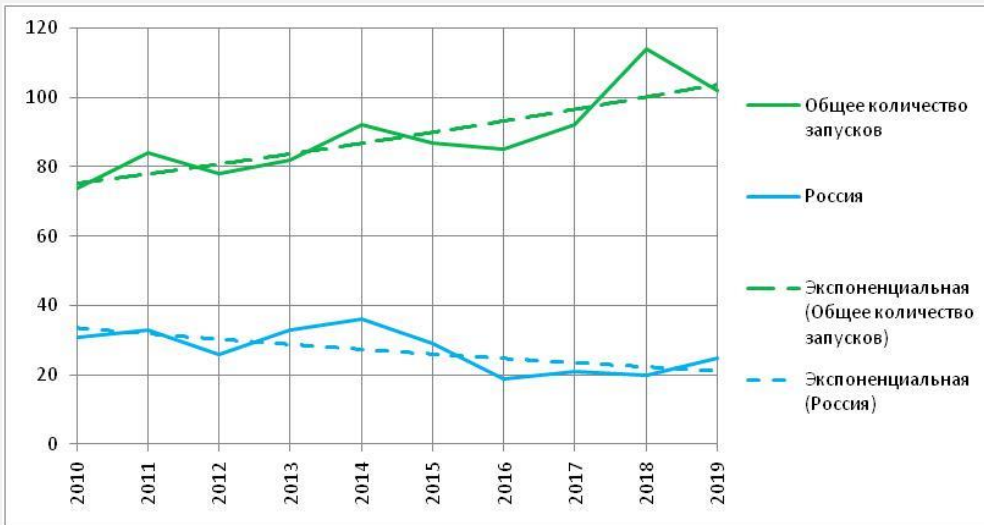


Анализ рынка и формирование облика перспективных межорбитальных буксиров

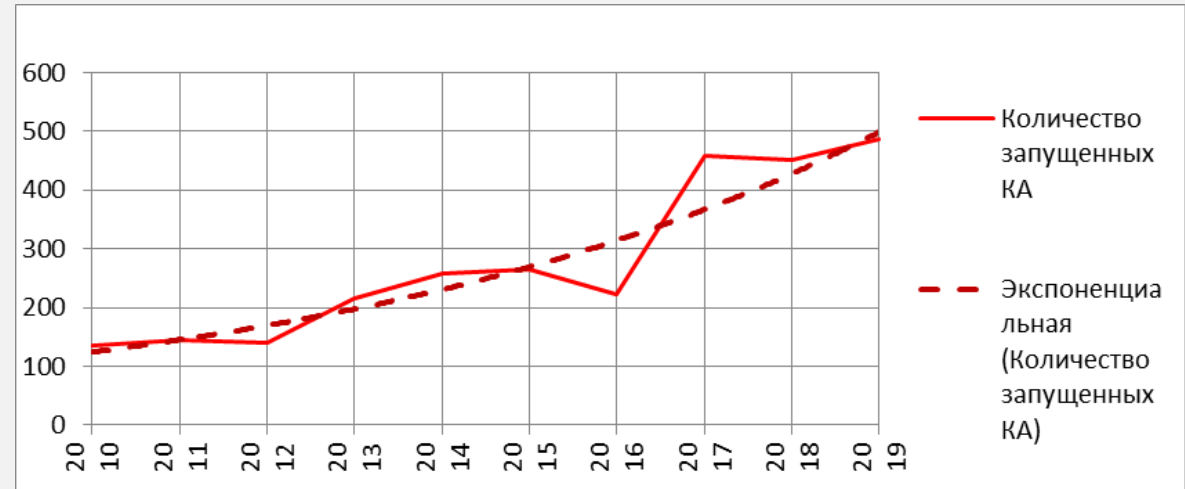
П.М.Бечаснов, А.М. Ильин

Пусковая активность игроков рынка

Количество запускаемых ракет растёт линейно,
спутников – экспоненциально...



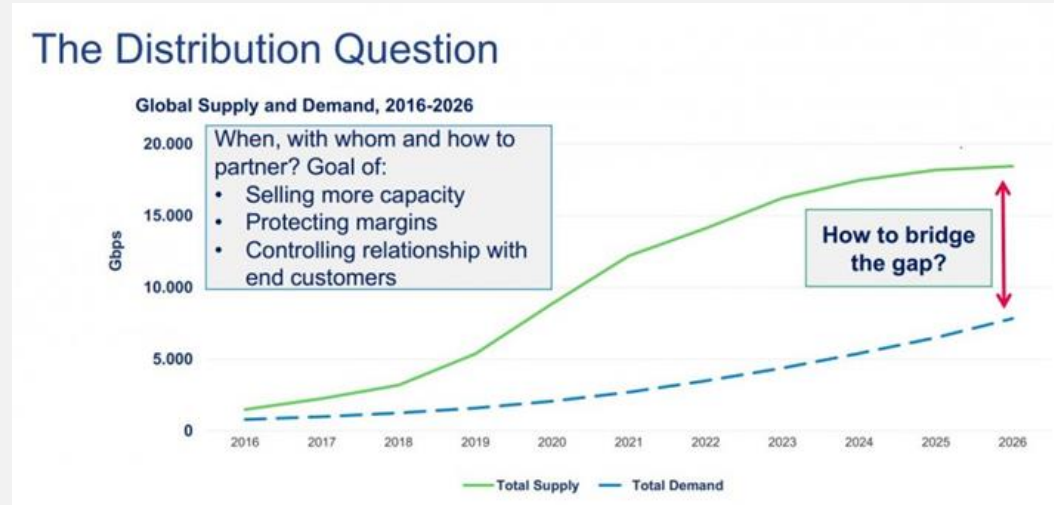
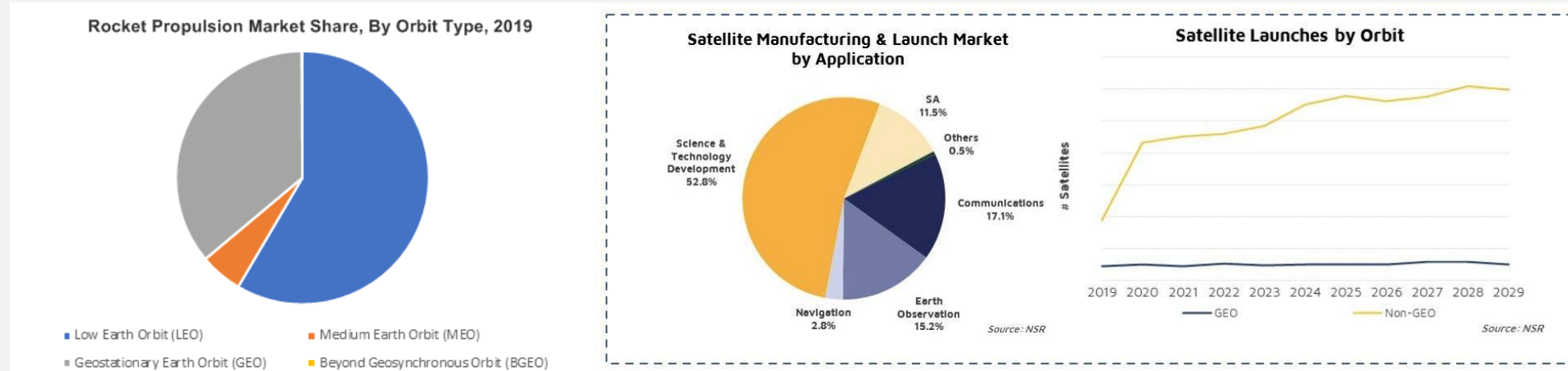
Ракеты-носители



Космические аппараты

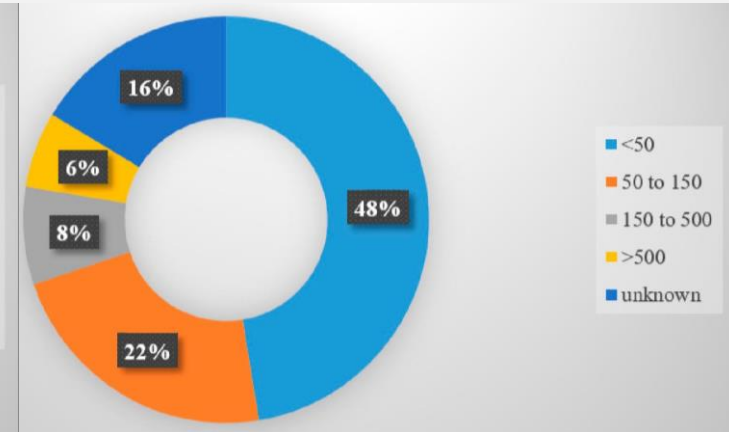
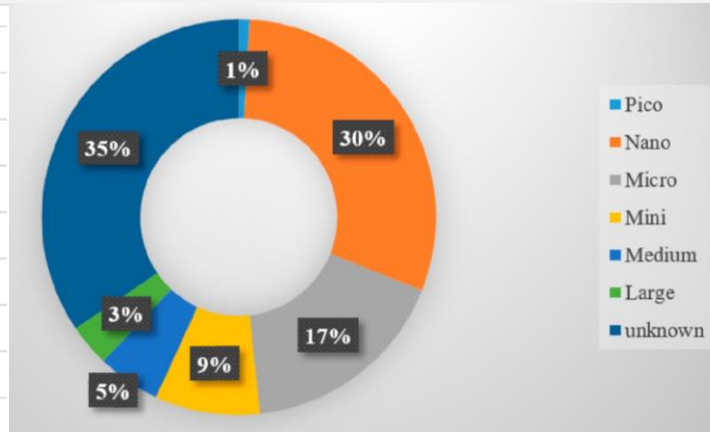
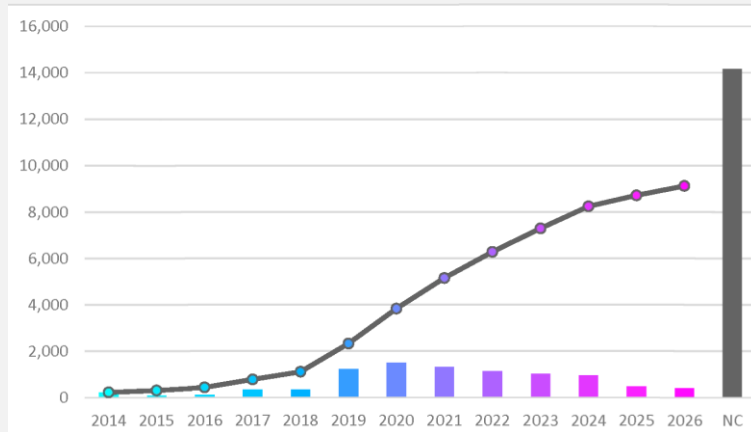
....но пусковая активность
России - снижается, тоже линейно

Распределение пусков по орбитам

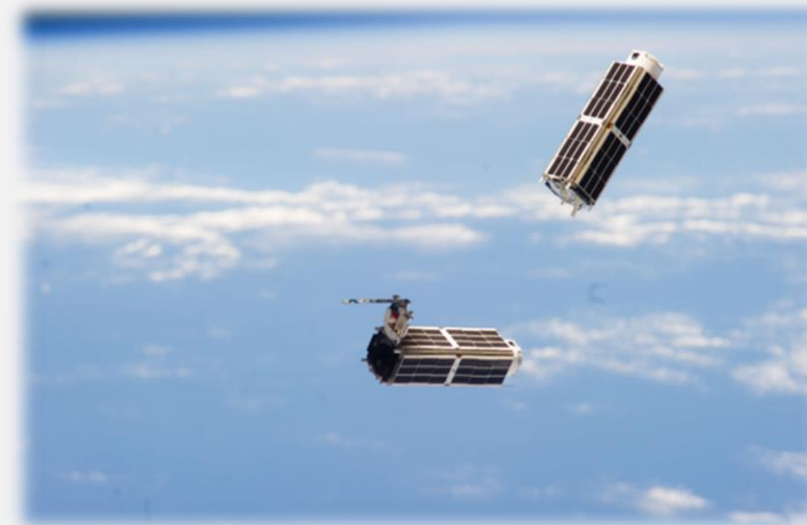


- Запуски в основном на низкие орбиты
- Высокие орбиты и отлётные траектории не создают рынка
- На геостационарной орбите кризис перепроизводства и спад

Распределение КА по пускам и характеристикам



- Больше всего нано- и микроспутников
- Чем меньше масса 1 КА – тем больше аппаратов выводят
 - Больше 50% КА не имеют своей ДУ



ДУ как обязательное условие для манёвров



ОКОЛОЗЕМНЫЕ маневры

Поддержание орбиты			Выстраивание формации из кубсатов ЗУ	Смена высоты круговой орбиты	Смена наклона круговой орбиты
МКС - 12-25 м/с/год	МКА на ССО – 1-2 м/с/год	Кубсат ЗУ на 300 км – 100 м/с/год	10 м/с	1 м/с на 2 км подъёма высоты	130 м/с/градус

Межпланетные перелёты

Маневр с малой тягой	Начало	Конец	Типовая хар. скорость, км/с	Маневр с большой тягой	Начало	Конец	Типовая хар. скорость, км/с		
Выход из сферы тяготения Земли	НОО	Отлёт с нулевой скоростью	7.3	Отлёт	НОО	Отлёт	3.22		
	ГПО		3.9		ГПО		0.8		
	ГСО		2.7		ГСО		1.3		
	Суперсинхронная ГПО		2.7		Суперсинхронная ГПО*		0.35		
Вход в сферу тяготения Луны	НОО	Захват Луной	6.7	Переход на траекторию к Луне	НОО	Попадающая траектория	3.1		
	ГПО		3.1		ГПО		0.7		
Переход на орбиту вокруг Луны	Захват Луной	Орбита вокруг Луны	1.4	Переход на орбиту спутника Луны	Суперсинхронная ГПО	Орбита спутника Луны	0.3		
					Попадающая траектория		0.8		
Перелёт к Марсу	Отлёт с нулевой скоростью	Выход к границе сферы тяготения цели	5.6	Перелёт к Марсу(8.5 месяцев, скорость встречи 2.1 км/с)	НОО	Попадающая траектория	3.5		
Перелёт к Венере			4.9	Геопереходная орбита	Попадающая траектория	1.2+			
Переход на орбиту вокруг			Выход к границе сферы тяготения Марса	Низкая околомарсианская орбита	0.5-1.5	Переход на орбиту спутника Марса	Попадающая траектория	Орбита спутника Марса	0.9
						Переход на низкую орбиту спутника Марса	Попадающая траектория	Низкая орбита спутника Марса	2.7
Переход на орбиту вокруг	Выход к границе сферы тяготения Марса	Низкая околомарсианская орбита	0.5-1.5	Переход на траекторию к Венере(4.8 месяцев, скорость встречи 3.4 км/с)	НОО	Попадающая траектория	3.6		
					ГПО	Попадающая траектория	1.0+		

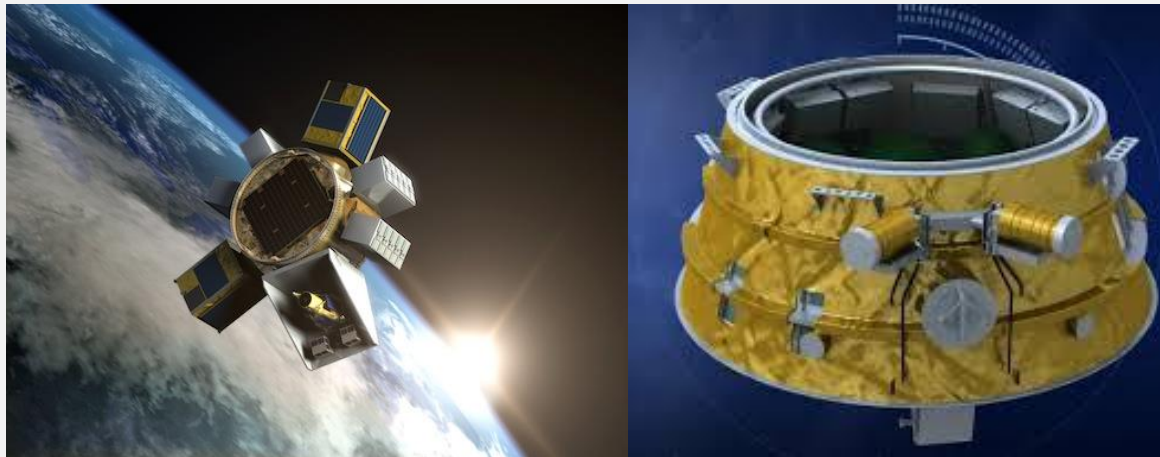
Существующие межорбитальные буксиры

Если нет своей ДУ, нужны буксиры и они уже есть, но дорогие для всех задач, кроме выведения оптом МКА



РБ Momentus Vigoride

РБ «Фрегат»



РБ SHERPA

Блок выведения «Волга»

РБ меньшей размерности только разрабатываются и пока неоптимальные

Массовые бюджеты буксира при перелётах



Перелёт с 300 км на 1500 км

Схема	Доля массы топлива	Доля массы источника энергии	Доля массы двигателя	Доля массы системы хранения и подачи топлива	Доля массы конструкции	Доля массы полезной нагрузки
Большая тяга	17,8%	-	0,4%	2,8%	1,1%	77,9%
Малая тяга ($a=1 \text{ мм/с}^2$, $T=14$ дней):						
- на СПД-50	7%	5%	34%	1,6%	2,4%	49,6%
- на ДЭН-15	20,6%	1%	0,4%	3,3%	1,3%	73,4%
Малая тяга ($a=0,1 \text{ мм/с}^2$, $T=64$ дня):						
- на СПД-50	7%	0,5%	3,4%	1,6%	0,6%	86,8%
- на ДЭН-15	20,6%	0,1%	0,04%	3,3%	1,2%	74,8%

Перелёт на отлётную траекторию

Схема	Доля массы топлива	Доля массы источника энергии	Доля массы двигателя	Доля массы системы хранения и подачи топлива	Доля массы конструкции	Доля массы полезной нагрузки
Большая тяга	65,7%	-	2,5%	10,5%	3,9%	17,4%
Малая тяга ($a=1 \text{ мм/с}^2$, $T=67$ дней)::						
- на СПД-50	57,9%	8,3%	51%	13%	6,5%	недолёт
- на СПД-100	38,3%	8,3%	25,5%	8,6%	4%	15,3%
Малая тяга с ускорением ($a=0,1 \text{ мм/с}^2$, $T=685$ дней):						
- на СПД-50	57,9%	0,9%	5,1%	13%	3,8%	19,3%
- на СПД-100	38,3%	0,9%	2,5%	8,6%	2,5%	47,2%

Расчёты показывают, что на НОО перспективны ЭНД для маневров и АИПД для поддержания орбиты, а для отлёта от Земли очень нужна большая тяга

Массовые бюджеты буксира при перелётах



- на НОО гравитационные потери крайне малы и баллистической значимости аккумулярование энергии не имеет;
- при отлёте от Земли даже при потребном ускорении 0.01 м/с^2 потребная масса двигателей превысит массу КА в целом (ЭРД очень тяжёлые в сравнении с ЖРД!), а аккумуляторы при этом ускорении весят больше, чем ПН

Схема	Доля массы топлива	Доля массы источника энергии	Доля массы аккумулятора	Доля массы двигателя	Доля массы системы хранения и подачи топлива	Доля массы конструкции	Доля массы полезной нагрузки
Большая тяга	65,7%	-	-	2,5%	10,5%	3,9%	17,4%
Малая тяга ($a=0,1 \text{ мм/с}^2$, $T=685$ дней):							
- на СПД-50	57,9%	0,9%	-	5,1%	13%	3,8%	19,3%
- на СПД-100	38,3%	0,9%	-	2,5%	8,6%	2,5%	47,2%
Электролиз с аккумуляцией газов с ускорением 0.1 мм/с^2 – время перелёта два года	45%	0,3%	42%	0,2%	7,2%	4,7%	0,6%

Накопление энергии в буксире, чтобы давать импульсы ЭРД большой тягой на современном уровне и в ближайшей перспективе нереализуемо. Реализуем электролиз, накопление газов и импульсы ЖРД – но сильно хуже существующих решений

Условия низкой стоимости разработки

1) Изделие – nano или микро КА

(средняя цена ОКР >100 тыс.\$/кг, нет стендов и дорогой пуск)

2) Недоступны радиационно-стойкие микросхемы

(очень дорого и не поставляется в РФ, но промышленную схему излучение радиопоясов убьёт за два месяца, и это ограничение на время перелёта);

3) без мощных ЭРД

(нет двигателей для нужного класса, дорогие СБ и большая доза радиации з медленный перелёт)

4) без ЖРД на токсичных и криогенных компонентах

(нет стендов, лицензий, кадров и т.п.)



Задачи нано-буксира на низких орбитах

✓ обслуживание низкоорбитальных КА по аналогии с проектом MEV для геостационара

(+применение буксира как встраиваемого модуля ДУ со своей СУ для МКА);

✓ поддержание КА на низких орбитах по аналогии с проектом GOCE

(комфортная среда по внешним воздействиям, лучшие условия работы аппаратуры ДЗЗ и связи);

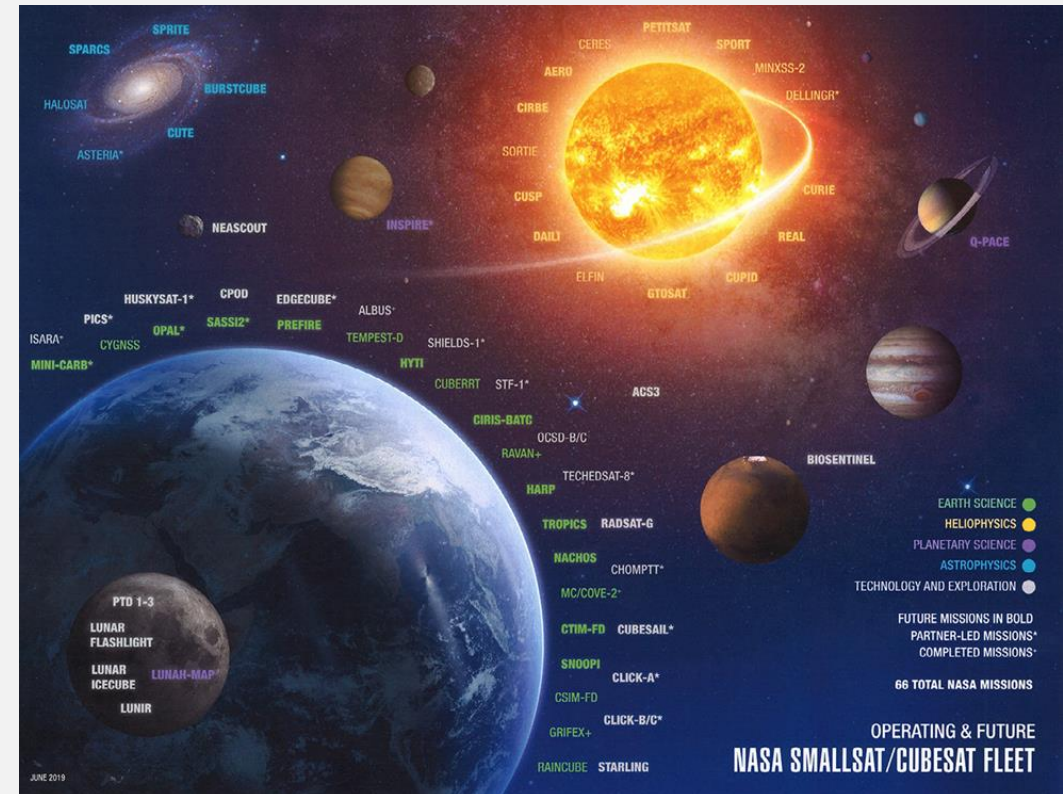
✓ транспортное обслуживание пилотируемых станций

(средство передвижения космонавтов, свободнолетающие наномодули, развёртывание группировок с базированием на станции, для которого особенно хороша будет перспективная РОСС)



Задачи нано-буксира в межпланетных исследованиях

- ✓ Прямые перелёты к Луне, Венере и Марсу;
- ✓ Полёты с гравманевром у Венеры к Солнцу, Меркурию, Юпитеру и Сатурну;
- ✓ Пролётные исследования (или перелёт с несколькими гравманеврами) к астероидам главного пояса, околоземным астероидам и кометам;
- ✓ Быстрый перехват внешних тел, входящих в Солнечную систему.

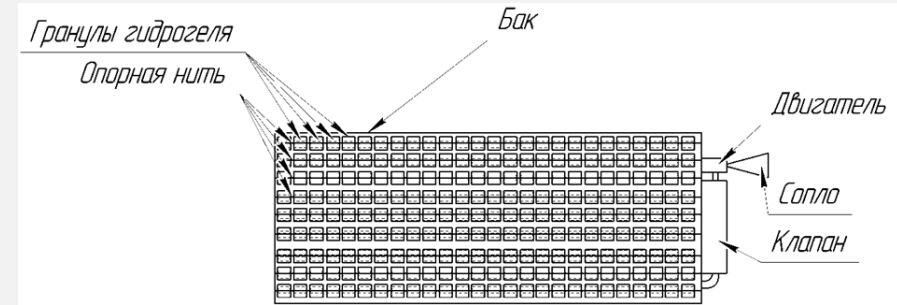


В настоящее время создатели межпланетных наноспутников ориентируются либо на попутную доставку какой-либо миссией, запускаемой в то же место назначения, либо на самостоятельный межпланетный перелёт. Это сложно и долго

Буксир малой тяги: Испарительные электронагревные двигатели



Хранение воды в гидрогеле:
-нет диафрагмы и горловины в баке;
-нет фильтров;
-нет редукторов



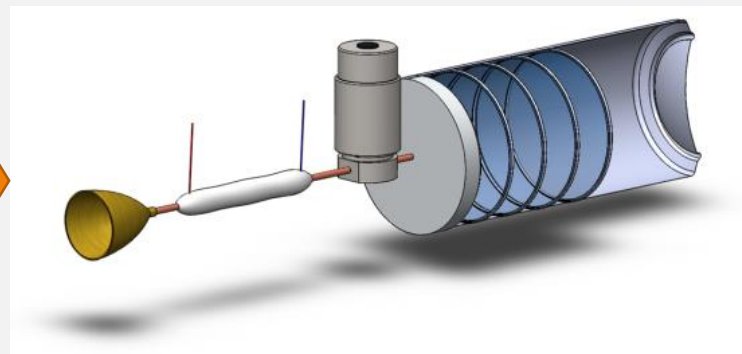
Без нагрева на выходе

Нагрев в теплообменнике

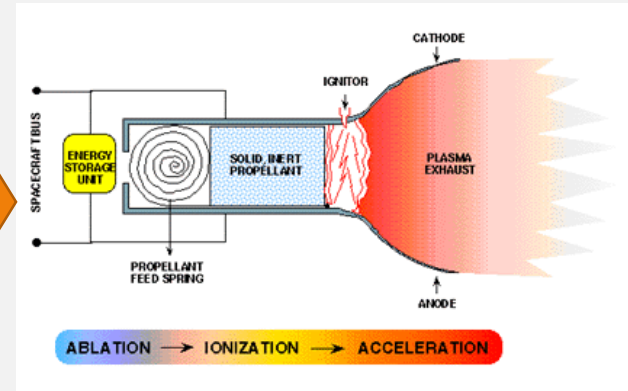
Нагрев дуговым разрядом



УИ 85 сек



УИ 171 сек



УИ 570 сек

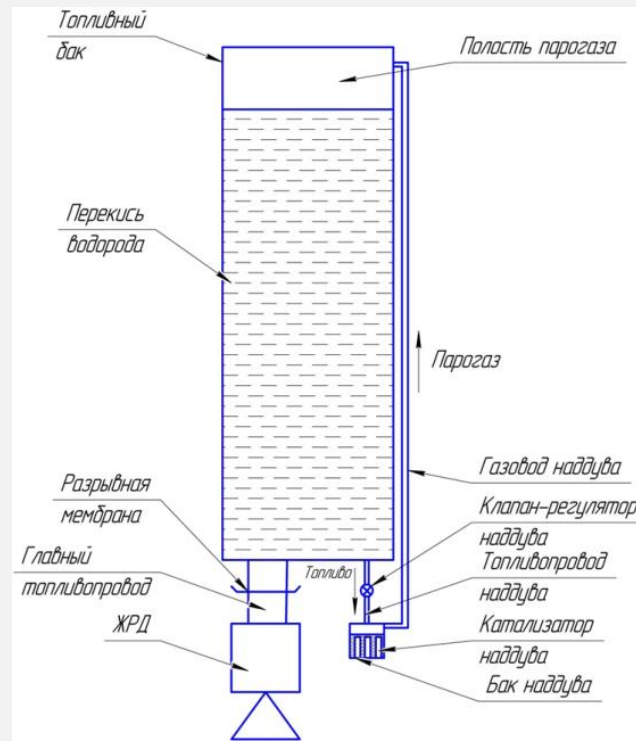


Буксир большой тяги: ЖРД на технической перекиси водорода

Перекись водорода с концентрацией 60% общедоступна, невозможна детонация и тяжелые отравления, не требует лицензии, цена за 1 кг на уровне 100 руб.



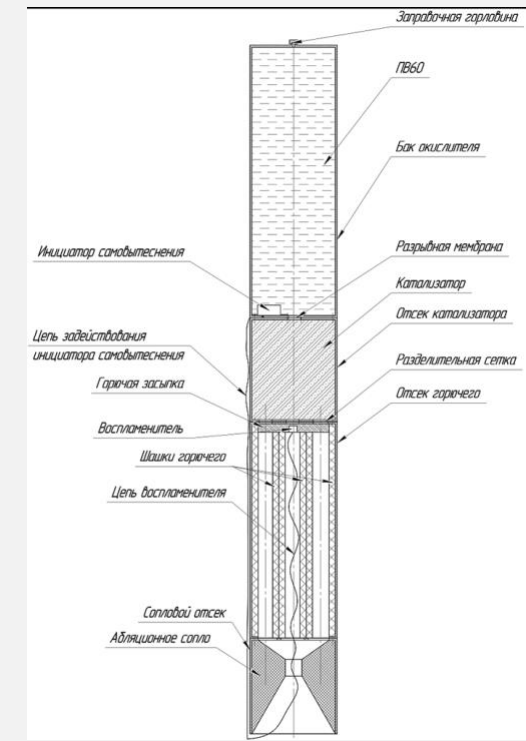
Испытаны катализаторы



Предложена схема самонадува бака



Испытан макетный
однокомпонентный двигатель



Предложена схема гибридного
двигателя

Создание ракеты по предложенной технологии



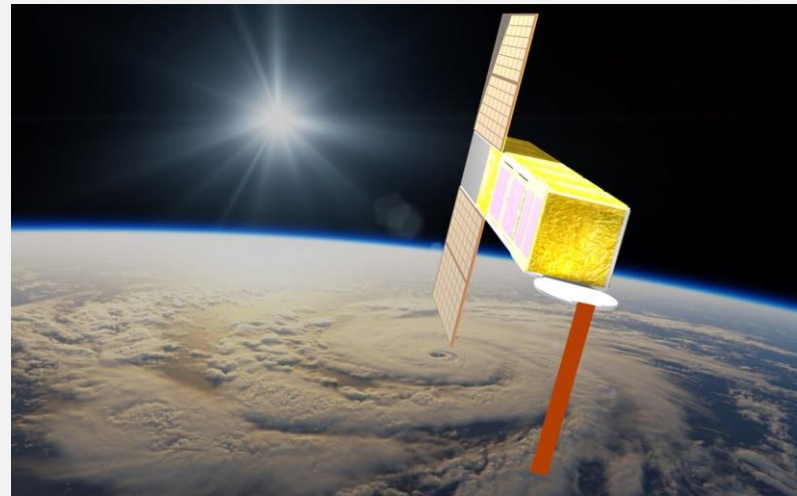
Данная ракета является суборбитальной, и позволит отработать нужные технические решения

Предложение: нано-буксир с двигателем малой тяги

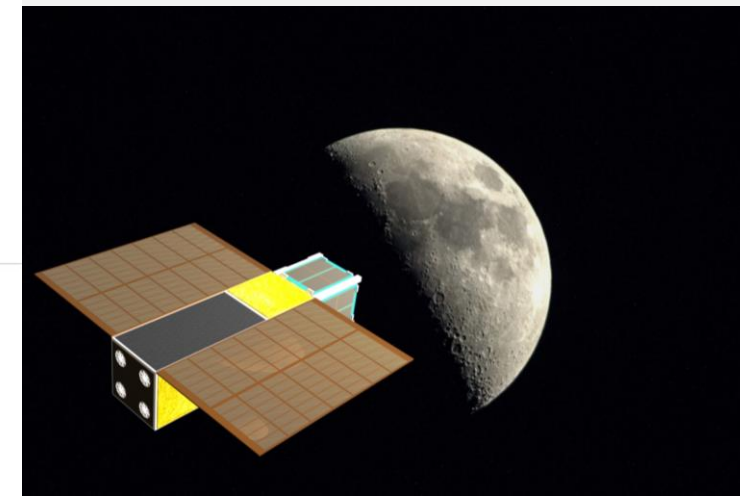
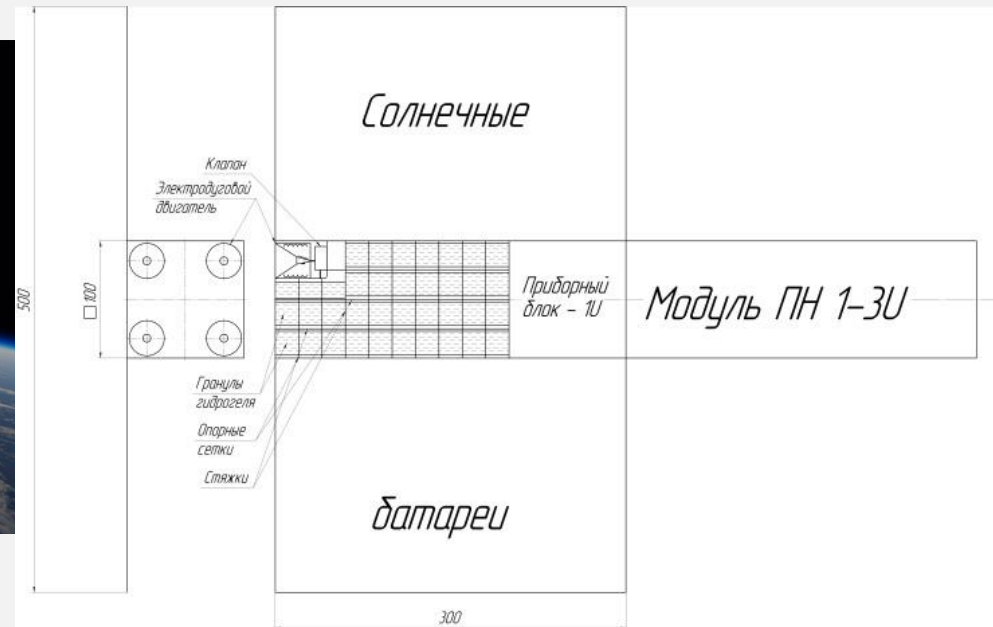
Буксир управляет полётом ПН,
обеспечивает энергию и телеметрию

...и самостоятельных полётов на
высоких орбитах...

...пригодный для наноспутников на НОО...



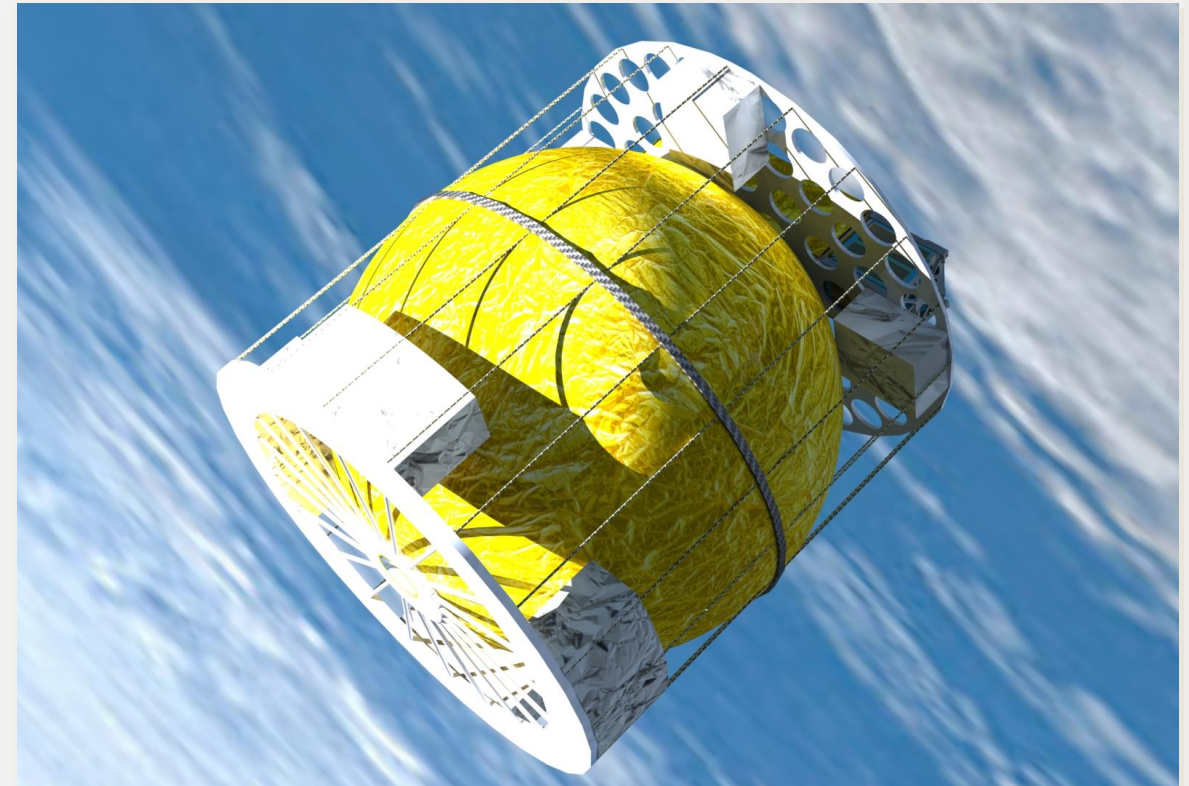
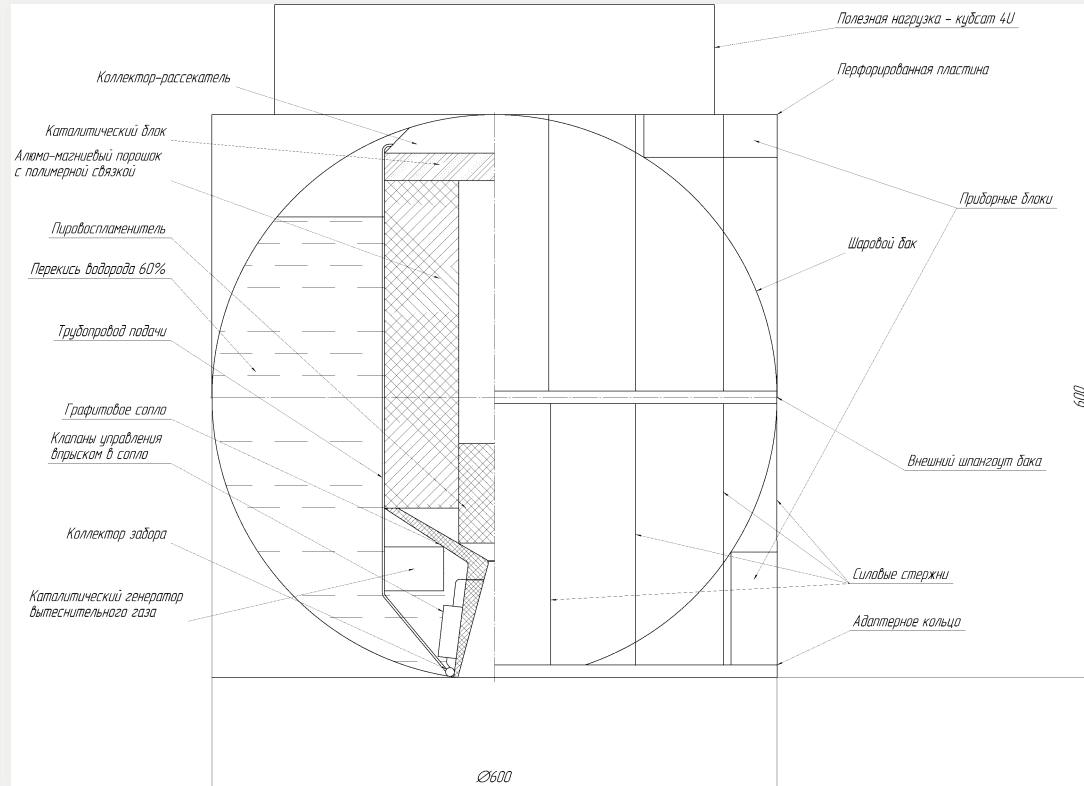
Навигация на НОО = ГЛОНАСС +
магнитометры + СД + катушки + маховики



Навигация «наверху» = СД+РСУ+ управление
с Земли по данным от астрономов

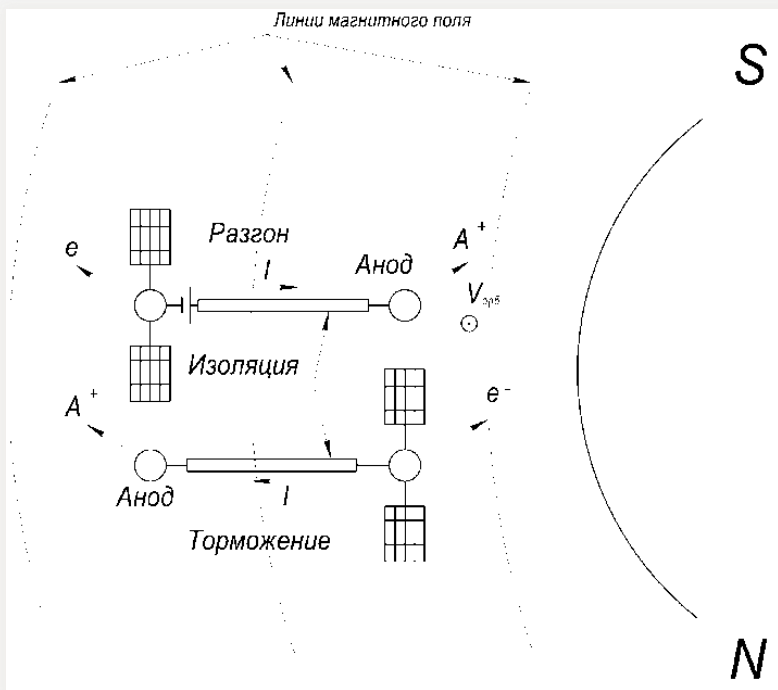
Данный может быть адаптирован к МКА при помощи увеличения бака

Предложение: разгонная ступень для нано-буксира

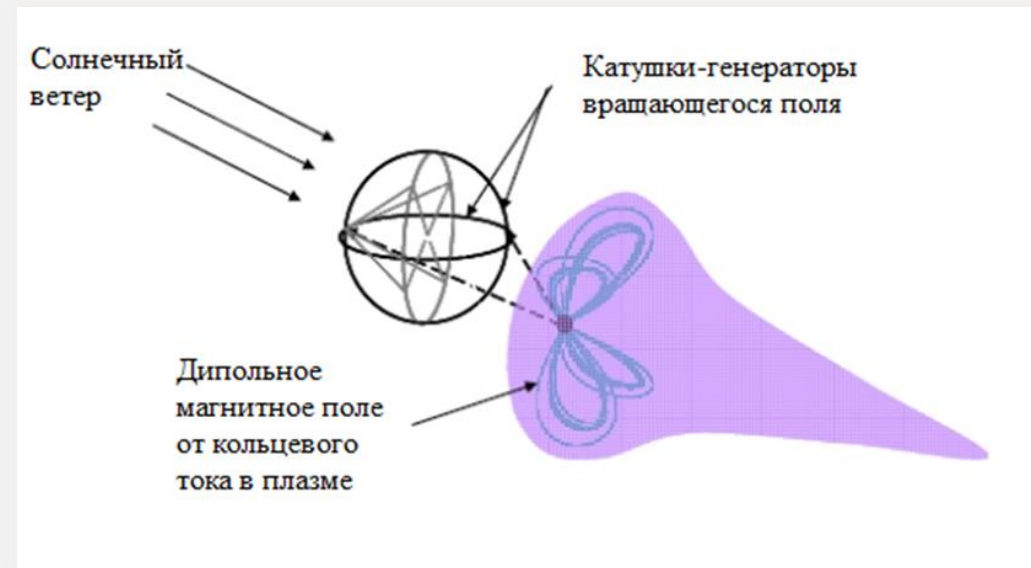


Перекись водорода 60% + гибридный двигатель + однократное включение = предельно простая конструкция
Позволяющая нано-буксиру миновать гравитационные потери и радиационные пояса

Перспектива: магнитореактивные двигатели



Электродинамический трос с автономной генерацией заряда – использует взаимодействие магнитного поля прямого тока с магнитным полем Земли. При длине в 300 м способен достичь удельного импульса почти в 1000 км/с (!) на орбите высотой 300 км



Магнитоплазменный парус Слау – создаёт кольцевой ток во внешней плазме вращающимся магнитным полем и использует взаимодействие поля, создаваемого уже им, с магнитным полем Земли или солнечным ветром. Способен достичь удельного импульса в 1000 км/с (!), при работе в солнечном ветре может использовать его энергию

Какова стоимость?

По предварительной калькуляции согласно отраслевым нормативам:

- низкоорбитальный буксир малой тяги: 230 млн.руб.,
- разгонная ступень: около 1 млрд. руб.,
- межпланетный буксир малой тяги (нужно запускать с ГСО): 350 млн.руб



Илон Маск сделал свой Falcon втрое дешевле, чем диктовала калькуляция по стандартам NASA. Налаживание системы частно-государственного партнёрства и соглашения с «Роскосмосом» и МО о порядке выполнения ОКР частником способно сделать то же!

