

Бочкарева Ю.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭРД В ЗАРУБЕЖНЫХ И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОГРАММАХ ОСВОЕНИЯ КОСМОСА (2025-2030 гг.)

Целью данной работы является изучение космических программ с использованием ЭРД на период 2025-2030 гг.

В НИИ и на кафедрах Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва, ОКБ «Факел», ракетно-космической корпорации «Энергия» имени С.П. Королёва (РКК «Энергия»), в Центральном научно-исследовательском институте машиностроения (ЦНИИМАШ), научно-исследовательском институте прикладной механики и электродинамики Московского авиационного института (НИИ ПМЭ МАИ), исследовательском центре имени М.В. Келдыша, АО «Информационные спутниковые системы (ИСС)» имени академика М.Ф. Решетнёва основаны научные коллективы, которые трудятся в области проектных и экспериментальных исследованиях электро-ракетных двигателей.

1 Двигатель с эффектом Холла

Двигатель с эффектом Холла – тип ионного двигателя. В нём топливо ускоряется под действием электрического поля. Эти двигатели основаны на открытии Эдвина Холла часто называют также двигателями типа Холла.

В миссии НАСА к астероиду Психея используются ксеноновые газовые двигатели Холла. Электричество поступает от солнечных панелей площадью 75 м². («Психея» - космический аппарат NASA, с помощью которого изучается металлический астероид Психея. Этот аппарат поможет выяснить происхождение планетных ядер. Пуск произведён 13 октября 2023 г. ракетой Falcon Heavy.)

Первые двигатели Холла, которые NASA разработает для пилотируемой миссии, будут состоять из комбинации 6-кВт двигателей Холла, разработанные компанией Busek, а также из системы Advanced Electric Propulsion System (AEPS), предоставляемые NASA. Эти двигатели будут использоваться в качестве основных в двигательной системе Махар (PPE) для Lunar Gateway в рамках программы НАСА Artemis. Поддержание станции на полярной, практически прямолинейной гало-орбите вокруг Lunar Gateway и резуль- тативное поднятие её орбиты обеспечивается благодаря высокому удельному импульсу, который обеспечивается двигателями Холла.

Самый мощный двигатель с эффектом Холла – это двигатель Холла с вложенным каналом Мичиганского университета мощностью 100 кВт. Двигатель имеет диаметр около 80 см, весит 230 кг и продемонстрировал тягу 5,4 Н.

2 Двигатель AEPS

Усовершенствованная электрическая двигательная установка (AEPS) является разработкой солнечно-электрической системы для использования на космических аппаратах, которую совместно разрабатывает и тестирует агентство NASA вместе с компанией Aerojet Rocketdyne для проведения масштабных исследовательских миссий и перевозок грузов. Использование системы AEPS впервые состоится в рамках орбитального полета PPE Lunar Gateway, старт которого назначен не ранее 2025 г. Модуль PPE разрабатывается фирмой Махар Space Solutions, базирующейся в городе Пало-Альто, штате Калифорнии. Две идентичные двигательные установки системы AEPS будут требовать 25 кВт энергии, обеспечиваемой разворачиваемой солнечной панелью (ROSA), которая обладает возможностью генерации свыше 60 кВт электрической мощности. Характеристики ЭРД AEPS представлены в табл.1. В ноябре 2019 г. компания Aerojet Rocketdyne впервые продемонстрировала двигатель AEPS на полной мощности. В июле 2023 г. НАСА и Aerojet Rocketdyne начали квалификационные испытания AEPS.

Табл. 1. Характеристики ЭРД AEPS

Максимальное энергопотребление	40 кВт
Максимальный рабочий ток	≤ 25 А
Напряжение	Вход: 95 В – 140 В Выход: 300 В – 600 В
Максимальный удельный импульс ($I_{уд}$)	2900 с
Макс. тяга	600 мН / двигатель
Теоретическая общая тяги	2,356 Н
Фактическая тяга при 40 кВт	1,77 Н
Диапазон расстояний от Солнца	от 0,8 до 1,7 а.е.
Масса системы	двигатели 100 кг $\times$ 4
Ксеноновая масса топлива	5000 кг

Три таких двигателя будут установлены на Power and Propulsion Element - первом модуле Lunar Gateway. Лунная космическая станция, "строительство" которой начнется в 2025 г., будет иметь решающее значение для миссий проекта Артемиды, а в будущем и для полётов человека на Марс.

3 Двигатель VASIMR

Электротермический двигатель, используемый в двигателях космических аппаратов – магнитоплазменный двигатель с переменным удельным импульсом (VASIMR). В настоящее время проводятся испытания последняя версия данного ЭРД - VX-200SS. В июле 2021 г. Ad Astra объявила о завершении рекордного испытания двигателя, проработав 28 часов при мощности 82,5 кВт. Второе испытание происходило с 12 по 16 июля. Двигатель успешно проработал 88 часов при мощности 80 кВт. Ad Astra планировали провести испытания уровня мощности 100 кВт в 2023 г.

Разрабатываемые программы для VASIMR, включая экспресс-доставку людей на Марс, будут требовать источника энергии с чрезвычайно высокой мощностью и минимальной массой, который будет в десять раз более продуктивным по сравнению с ядерным реактором.

4 Двигатель NEXT

Проект ксенонного двигателя нового поколения НАСА (NEXT) в Исследовательском центре Гленна представляет собой сетчатый электростатический ионный двигатель, примерно в три раза мощнее, чем NSTAR, используемый на космических аппаратах Dawn и Deep Space. Он использовался в DART, запущенном в 2021 г. Двигатель NEXT – вид электродвигателя, использующий электроэнергию, генерируемую солнечными панелями космического аппарата, для разгона ионов ксенона, NEXT будет потреблять 6,9 кВт мощности для выработки тяги с удельным импульсом в 4170 сек., и может эксплуатироваться более пяти лет. Его мощность можно снизить до 0,5 кВт, если использовать двигатель с удельным импульсом 1320 сек.

5 Ионозонд-2025

Ионозонд – космический комплекс для наблюдений и измерений геофизических параметров ионосферы, верхних слоев атмосферы и околоземного космического пространства. Эта группировка состоит из пяти спутников: четыре устройства «Ионосфера» и одно устройство «Зонд». Спутники «Ионосфера» предназначены для работы на круговых солнечно-синхронных орбитах на высоте около 820 км. Они будут располагаться в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, по два аппарата «Терминатор» и «Меридиан» в каждой плоскости. Угловое расхождение примерно 180°. «Зонд» будет функционировать на круговой околотерминаторной орбите на высоте от 600 до 650 км на экваторе. Будут задействованы абляционные импульсные плазменные двигатели АИПД-95 для поддержания фазовых характеристик аппаратов в одной плоскости в системе коррекции орбиты спутников «Ионосфера».

6 Исследовательский центр имени М. В. Келдыша

Исследовательский центр имени М.В. Келдыша (Роскосмос) - научно-исследовательский институт, работающий в области ракетного двигателестроения и космической энергетики с 1933 г. ИД-500, или ИД-ВМ («ионный двигатель высокой мощно-

сти») - самый мощный в мире (на 2022 г.) ионный двигатель созданный Центром Келдыша для строящегося межорбитального буксира «Зевс». Двигатель обладает тягой 375–750 мН и удельным импульсом 7000 сек., при этом коэффициент полезного действия (КПД) составляет 0,75, мощность – до 35 кВт.

Библиографический список

1. Джордж Р. Шмидт; Майкл Дж. Паттерсон; Скотт У. Бенсон. «Эволюционный ксеноновый двигатель НАСА (NEXT): следующий шаг для американских двигателей дальнего космоса» / NASA Glenn Research Center, USA. – URL: https://web.archive.org/web/20100518154142/http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080047732_2008047267.pdf (дата обращения 30.03.2024)

2. Джаред П. Сквайр; Франклин Р. Чанг Диас; Верлин Т. Джейкобсон; Тим У. Гловер; Ф. Уолли Бейти; Ричард Х. Голдинг; Роджер Бенгтсон; и др. «Прогресс экспериментальных исследований в направлении двигателя VASIMR» / Advanced Space Propulsion Laboratory, NASA Johnson Space Center, Houston, Texas, 77059 USA. – URL: <https://web.archive.org/web/20140801011106/http://spaceflight.nasa.gov/shuttle/support/researching/aspl/reference/iepc03.pdf> (дата обращения 30.03.2024)

3. Тернер, Мартин Дж. Л. «Двигатели для ракет и космических аппаратов: принципы, практика и новые разработки». – URL: https://books.google.ru/books?id=xBYYasVPpVAC&pg=PA197&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (дата обращения 30.03.2024)

4. Макриденко Л.А., Волков С.Н, Горбунов А.В., Кожевников В.А., Ходненко В. П. «Космический комплекс «Ионозонд» / Л. А. Макриденко // Страницы истории отечественной космической метеорологии – 19.04.2019.

5. Казеев М. Н. «Импульсные плазменные двигатели в России» / Электронный журнал «Труды МАИ». №19.