

Проект "Дедал"

Содержание

Техническое задание	2
Двигатель	3
Конструкция	5
Полезная нагрузка	6
Траектория	7
Результаты	8
Источники	9

30 лет назад, 10 января 1973 года на собрании Британского Межпланетного Общества (British Interplanetary Society - BIS) было принято решение о начале исследования возможности межзвездных полетов (МП). Была поставлена задача спроектировать космический аппарат, способный в достаточно короткие сроки достичь одной из ближайших звезд, провести научные исследования и передать на Землю полученную информацию. Соответствующий комплекс научно-исследовательских и проектных работ вошел в историю под названием проект "Дедал" ("Daedalus"). Это же имя получил и межзвездный зонд, конструкция которого была разработана в ходе проекта.

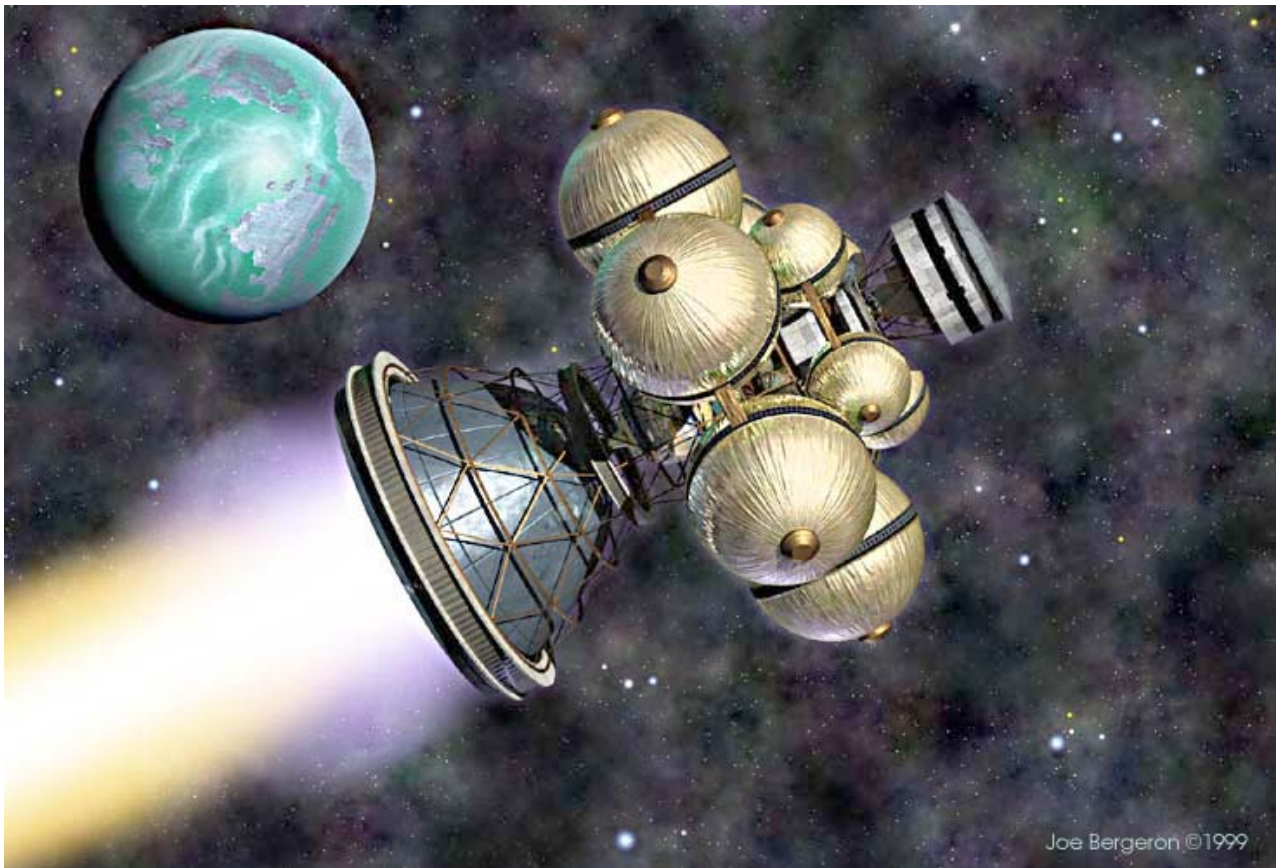


Рис.1. "Дедал" на старте (Рисунок Joe Bergeron).

BIS - старейшая (основана в 1933 году) и, пожалуй, наиболее известная в мире общественная организация, посвящающая свою деятельность космонавтике. Широко известны ее регулярные издания "Spaceflight" и JBIS. В конце 30-х годов BIS разработало проект, во многом похожий на проект "Дедал" - проект пилотируемой экспедиции на Луну... К проблематике МП BIS обратилось еще в 1952 году и постоянно ведет активную работу в этой области. Любопытно пояснение, которое дает BIS по вопросу: "почему "Межпланетное" Общество так интересуют "Межзвездные" проблемы?" - "Другие звезды также имеют планеты, так что программа Общества выходит далеко за пределы нашей Солнечной системы".

Работы над проектом "Дедал" продлились под руководством инженера Алана Бонда (Alan Bond), который стоял во главе Главного координационного комитета из 11 человек. Всего в реализацию проекта было вовлечено по разным его аспектам и в качестве консультантов до 300 специалистов. Проект "Дедал" был официально завершен в 1978 году выпуском отчета, в котором была описана конструкция межзвездного зонда и даны научно-технические обоснования возможности его создания. После этого еще в течение по крайней мере 10 лет проводились исследования и уточнения отдельных характеристик зонда. Помимо собственно отчета к результатам проекта можно отнести сотни научных и научно-популярных публикаций по самому проекту и его отдельным вопросам, появившиеся во многих странах.

Техническое задание

Граничным условием исследования был принят принцип использования для проектирования техники и технологий либо существующих, либо "предвидимых". Под предвидимыми технологиями понимались технические решения, в возможности практической реализации которых никто не сомневается. В частности не рассматривалась популярная концепция МП с использованием аннигиляционного (иногда называемого также фотонным) двигателя, так как хотя возможность его создания и доказана, но никто не знает, как эту возможность можно реализовать или хотя бы с чего начинать практическую работу. Этот основной принцип проекта отражен и в его названии. В соответствии с греческим мифом Дедал, изобретая крылья, советовал своему сыну Икару лететь не слишком высоко и не слишком низко. Икар полетел к Солнцу и погиб, Дедалу же удалось перелететь море.

Целью полета зонда "Дедал" была выбрана звезда Барнарда, так же известная под названием "Летящая Барнарда". "Летящая" - потому что звезда имеет самую большую лучевую скорость по отношению к Солнцу (10,31"/год). Этот холодный красный карлик в созвездии Змееносца спектрального класса M5 имеет светимость 0.00044 и массу 0,15 солнечной. Расстояние до Солнца - 5,91 световых лет. Барнарда не самая близкая к Солнцу звезда. Ближайшая звезда - Проксима Центавра, входящая в звездную систему Альфы Центавра, находящуюся на расстоянии 4,3 световых года и логично было бы для демонстрации возможности МП выбрать эту систему. Однако в то время считалось, что у звезды Барнарда есть планеты (в дальнейшем эта гипотеза американского астронома ван де Кампа (Peter van de Kamp) подтверждения не получила) и это придавало дополнительный интерес к исследованию. Второе объяснение дает Алан Бонд: конструкция, способная долететь до Барнарда, тем более способна добраться до системы Альфа Центавра.

Таким образом были определены объект исследования зонда "Дедал" и дистанция полета - 5,91 световых лет (373 тысячи астрономических единиц или 56 тысяч миллиардов км). Время полета было определено в 40 лет. Такое значение было выбрано как время, при котором участники начала работ по созданию космического корабля для МП могли бы дожить до получения результатов своих работ. В ходе работ над проектом это время было увеличено до 49 лет (типично для любого космического проекта - параметры технического задания в процессе работы всегда изменяется в худшую сторону).

Двигатель

Указанные три предпосылки (Время, Дистанция и Граничное условие) жестко определяют тип двигательной установки (ДУ) межзвездного зонда "Дедал". Единственный тип двигателя, который удовлетворяет предъявленным требованиям - это импульсный термоядерный ракетный двигатель (ИТЯРД).

В основе работы ИТЯРД лежит концепция инерциального термоядерного синтеза (ИТС). В рамках этой концепции для достижения термоядерной реакции небольшое количество (0,001 - 1 г) твердого термоядерного топлива (так называемая "мишень") облучается высокоэнергичными (больше 1 МДж в импульсе) лазерными либо электронными (ионными) лучами. Если упростить (очень сильно упростить), то под действием облучения мишень нагревается и сжимается до уровня, когда условия в ее центре достигают критерия Лоусона - начала самоподдерживающейся термоядерной реакции. Скорость разлета продуктов термоядерного горения может достигать десятков тысяч километров в секунду, что соответственно в тысячи раз больше, чем скорость истечения химических двигателей. Проблемой практической реализации ИТС несколько десятков лет занимаются в США, России и Европе, построены экспериментальные установки масштабом с небольшой завод или цех. (Фотография иллюстрирует масштаб работ - это National Ignition Facility (США) - экспериментальная установка для исследования проблем ИТС с "камерой сгорания" диаметром 10 м). В настоящее время состояние работ близки к реализации так называемого "критического эксперимента" - эксперимента, когда энергия термоядерного горения сравнивается с энергией поджига. Надо отметить, что соответствующая установка, построенная в космосе будет много проще ("бесплатный" вакуум) и легче (невесомость), чем в земных условиях.



Рис.2. Экспериментальная установка для исследования ИТС - декабрь 2001.

Камера сгорания (КС) ИТЯРД представляет собой соосные соленоиды, создающие полуэллиптическое магнитное поле. В центр этого поля с большой частотой вбрасываются мишени, которые поджигаются соответствующими лучами. В этом случае заряженные частицы - продукты термоядерного горения - двигаются по силовым линиям магнитного поля и вылетают из КС в одном направлении, создавая тем самым ракетную тягу. Соленоиды, создающие фокусирующее магнитное поле могут быть смонтированы просто на силовых штангах либо на тонкостенном металлическом полупараболоиде. И та, и другая конструкция имеет свои преимущества и недостатки. В проекте межзвездного зонда "Дедал" выбран второй способ.

Авторы проекта выбрали для поджига пучки релятивистских электронов, а в качестве термоядерного топлива - смесь дейтерия и гелия-3 ($D + {}^3\text{He}$). Эти два параметра являются ключевыми для определения облика ИТЯРД. Реакция $D + {}^3\text{He}$ является весьма эффективной для двигателей рассматриваемого типа, однако возникает проблема получения гелия-3 в необходимых количествах. Его выработка в термоядерных реакторах на Земле в нужных масштабах невозможна - если бы вся потребляемая на сегодняшний день энергия производилась бы в термоядерных реакторах, то можно было бы получать 400 т гелия-3 в год. Поэтому авторы проекта в качестве источников гелия-3 рассматривали поверхность Луны или атмосферу Юпитера (На Юпитере количество ${}^3\text{He}$ оценивается в 10^{16} т - хватит на тысячу миллиардов "Дедалов").

Термоядерные мишени хранятся при температуре 3°К и представляют собой полые сферы из дейтерия, заполненные гелием-3. При взрыве мишень сгорает не полностью - ее большая часть сублимируется под действием излучения. По расчетам разработчиков выгорание мишени должно составить 10-15%. Для получения расчетной тяги необходимо взрывать мишени с достаточно большой частотой - в проекте принята частота 250 Гц. Это определяет большую скорость подачи мишеней в КС - 13 750 м/с. Такая скорость обеспечивается линейными магнитными ускорителями. Для генерации пучков релятивистских электронов требуется электроэнергия сопоставимая с энергией самого двигателя. В проекте предполагается, что необходимая энергия будет отбираться непосредственно из КС индукционными соленоидами. Фокусировка продуктов реакции осуществляется соосными сверхпроводящими соленоидами, сила тока в которых составляет 10 000 000 А. В процессе работы КС будет нагреваться до 1600°. Поэтому было предложено выполнять КС из листов молибдена толщиной 1,5 мм.

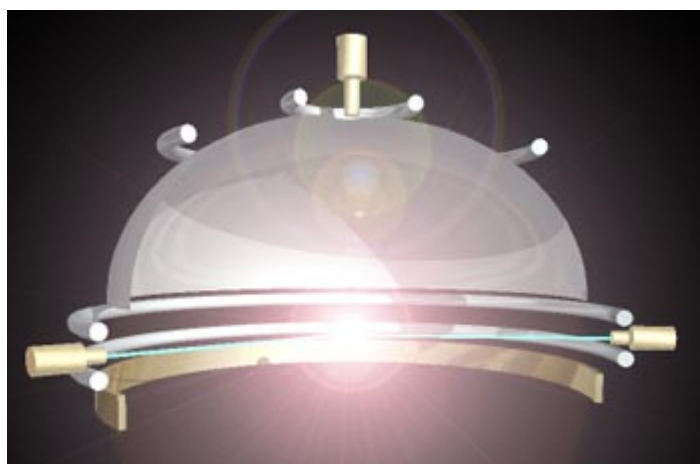


Рис.3. Камера сгорания зонда "Дедал"

На зонде "Дедал" установлено 2 двигателя - на первой и второй ступенях. Принятые в проекте общие характеристики этих ДУ приведены в табл.1.

Характеристики ДУ зонда "Дедал"

Параметр	ДУ 1-й ступени	ДУ 2-й ступени
Скорость истечения, м/с	10600000	9210000
Тяга, Н	7530000	663000
Расход топлива, кг/с	0,711	0,072
Масса мишени, г	2,84	0,29
Энергия импульса поджига, МДж	2700	400
Коэффициент сжатия	1000	2000
Число ускорителей мишеней	100	40
Напряженность фокусирующего магнитного поля, Т	0,1	0,2
Масса фокусирующих соленоидов, т	194	73
Масса КС, т	220	25
Диаметр КС, м	100	44
Время работы, лет	2,05	1,76

Конструкция

Конструкция межзвездного зонда "Дедал" определяется в первую очередь характеристиками ДУ. В проекте принята двухступенчатая схема с последовательным расположением ступеней. Заранее изготовленные мишени находятся в сферических топливных баках, расположенных по периферии ДУ. В процессе выработки топлива баки попарно сбрасываются.

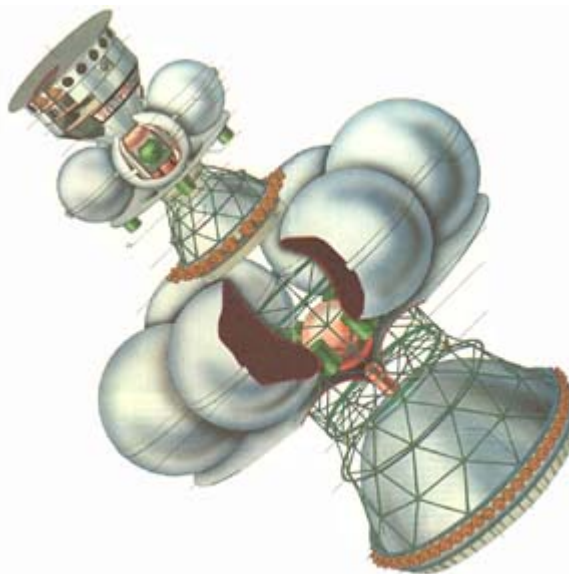


Рис.4. Общая конструктивная схема зонда "Дедал"

При проектировании конструкция зонда была разделена на две части - первичную и вторичную. В первичную часть вошли силовые элементы крепления двигателей, ПН, элементы передачи тяговых усилий. После анализа всех видов нагрузок (в том числе термических, электромагнитных, радиационных) основными конструкционными материалами первичной конструкции были приняты титановые сплавы. Во вторичную часть вошли камеры сгорания, фокусирующие соленоиды, линейные ускорители, тепловые экраны, курсовой экран и другие элементы. Эта часть характерна экстремально различающимися условиями работы. Например, если температура элементов КС достигает 1600°, то температура топливных баков не должна

превышать 3°К. Соответственно для различных элементов вторичной конструкции были выбраны различные материалы, в частности молибден для КС, титан для топливных баков, никелевые сплавы для тепловых экранов, бериллий для курсового экрана.

Управление на активном участке осуществляется за счет карданного подвеса ДУ с возможным углом отклонения 1°. Для коррекции траектории полета и для маневров у звезды Барнарда устанавливается дополнительный бак с 55 тоннами топлива, обеспечивающий характеристическую скорость 630 км/с.

Массо-габаритная сводка зонда "Дедал" приведена в табл.2.

Таблица 2.

Массогабаритная сводка зонда "Дедал"

Параметр	1 ступень	2 ступень	Зонд "Дедал"
Стартовая сухая масса, т	1690	980	3500
Масса топлива, т	46000	4000	50000
Длина, м	125	95	200
Диаметр, м	190	76	190
Количество топливных баков	6	4	10
Диаметр баков, м	60,8	30,8	
Масса ПН, т			450

Полезная нагрузка

Конструкция зонда "Дедал" и условия межзвездного полета определили основные требования к ПН - масса не более 500 т, способность функционировать на скорости до 13% от скорости света и температурах, близких к абсолютному нулю, работоспособность без вмешательства Земли.

Были сформулированы следующие основные задачи исследований: исследования планет, исследования звезды Барнарда, исследования межзвездной среды. Кроме того, на борту зонда предлагалось установить два 5-метровых оптических телескопа, с помощью которых можно было бы заранее определить орбиты планет звезды Барнарда, измерить точные размеры нашей Галактики и расстояния до других галактик, а также два 20-метровых радиотелескопа.

Для повышения эффективности и гибкости научных исследований разработчиками была принята концепция запуска с борта основного аппарата специализированных зондов. Зонды отделяются в разное время и направляются по различным траекториям. Для связи с зондами на борту основного аппарата устанавливается 10-метровая антенна, а также аппаратура предварительной обработки данных весом около 10 т.

Помимо зондов на борту "Дедала" предусматривалось разместить 2 специальных автономных космических аппарата, так называемых "Warden". (Буквальный перевод - "уполномоченный по охране"). В их задачу входит контроль и ремонт внешних систем корабля и проведение экспериментальных исследований. С этими целями Warden'ы могут доставлять приборы на расстояние до 10 000 км от основного зонда.



Рис.5. Warden

Общая характеристика автономных зондов, размещаемых на борту "Дедала" приведена в табл.3.

Таблица 3.

Состав и характеристики автономных зондов.

Тип (назначение) зонда	Масса одного зонда, т	Время автономного полета, лет	Число зондов	Запасные зонды
Исследование юпитероподобных планет	13,1	7,2	5	5
Исследование землеподобных планет	13,1	1,8	3	
Звездная физика	10,0	1,2	3	2
Межзвездная среда	5,0	до 40	3	2
Wardens	5,0	до 18	2	-

Полезная нагрузка размещается в цилиндрическом отсеке диаметром 52 м и длиной 25 м. Отсек ПН разделен на 4 "палубы". В первой находятся автономные зонды, средние - астрономический и коммуникационные, четвертый - сервисный с двумя "Wardens". В центре отсека ПН проходит 5-метровый туннель с компьютером и другой чувствительной аппаратурой. Отсек ПН прикрыт курсовым 50-тонным бериллиевым экраном толщиной 7 мм для защиты от набегающего потока частиц межзвездной среды.

Связь с Землей на пассивном участке полета и во время пролета звезды Барнарда не вызывает принципиальных трудностей. Было предложен передатчик с уровнем мощности 5 МВт, работающий в 10-сантиметровом диапазоне. Скорость передачи данных - до 10 килобит/с. В качестве антенны было предложено использовать КС второй ступени зонда "Дедал", а в качестве приемной антенны на Земле - большой радиотелескоп типа "Аресибо". На активном участке (первые 4 года полета) полета предполагалась лазерная связь.

Траектория

Место старта зонда "Дедал" будет зависеть от того, какой источник ³Не будет использован - это орбита Луны или обита Юпитера. Через 2 дня после старта зонд достигнет скорости 16 км/с - скорости покидания Солнечной системы. Активный участок займет около 4 лет, после чего аппарат приобретает крейсерскую скорость 12,8% световой (38 400 км/с). На пассивном участке предусматриваются 2 коррекции траектории. Запуск автономных зондов начнется за 7,2 года до пролета звезды Барнарда. Сам пролет состоится через 49 лет после старта. Характеристики основных событий полета приведены в табл.4.

Таблица 4.

Основные события полета зонда "Дедал"

Событие	Время от старта, лет	Расстояние от Солнца, св.лет
Старт	0	~ 0
Сброс 1-й пары баков	0,68	0,0037
Сброс 2-й пары баков	1,35	0,0071
Разделение ступеней	2,05	0,0488
Сброс 1-й пары баков	2,93	0,119
Конец активного участка	3,81	0,212
1-я коррекция	4,33	0,28
2-я коррекция	25	2,92
Начало запусков автономных зондов	42	5,07
Пролет звезды Барнарда	49	5,91

Здесь естественно встает вопрос о времени старта. Разработчики проекта "Дедал" достаточно уверенно говорят, что на НИОКР и изготовление зонда потребуется около 20 лет. А вот время начала НИОКР по мнениям некоторых авторов проекта лежит в диапазоне от 100 до 200 лет со времени начала работ по проекту "Дедал".

Результаты

Со времени проведения работ по проекту "Дедал" были проведен большой объем теоретических и экспериментальных работ по проблемам инерциального термоядерного синтеза - ключевой точке проекта. Стало ясно, что многое в этом вопросе не так просто, как казалось авторам проекта "Дедал". Необходима более сложная по составу и структуре термоядерная мишень, авторы проекта были слишком оптимистичны в оценке уровня выгорания термоядерного топлива. Для соответствующих размеров КС не годятся пучки электронов в качестве средства поджига мишеней - надо использовать ЛТС - лазерный термоядерный синтез, что создает дополнительные трудности. С другой стороны, успехи в электронике уже сняли вопросы, сильно беспокоивших разработчиков - вопросы надежности электронной аппаратуры, навигации, высокого уровня автоматизации. В целом можно уверенно говорить, что основной результат работ по проекту "Дедал" - доказанная возможность МП - остается справедливым. Принятая схема зонда и многие конструктивные решения и предложения не потеряли своей актуальности.

Результаты исследований по проекту "Дедал" служат дополнительным стимулом и обоснованием для проведения научных исследований в различных высокотехнологических областях, таких как термоядерный синтез, физика сверхпроводимости, высокоэнергетические импульсные системы, электромагнитные ускорители. Материалы проекта используются в образовательных схемах, по мотивам проекта "Дедал" делаются (даже в России) курсовые и дипломные работы. Его основной результат - доказательство возможности МП - используется в футурологических исследованиях и при рассмотрении вопросов SETI (особенно часто - уфологами).

Вплоть до настоящего времени проект "Дедал" является общепринятым образцом и точкой отсчета при изучении предельных космических возможностей нашей Цивилизации. В 1996 году NASA приступило к реализации проекта "Прорыв в физике двигателей" (Breakthrough Propulsion Physics Project). Целью проекта стало рассмотрение предельных возможностей полетов в космос. Основной точкой отсчета в работах по этому проекту стали результаты исследований по проекту "Дедал". Как я понимаю, американцы сказали себе: "Вот это мы можем, давайте посмотрим, а что мы не можем...".

Методологический подход при реализации проекта "Дедал" - коллективный "мысленный эксперимент" - оказался весьма эффективным. При правильной организации можно не только

доказать возможность того или иного технического решения, но и на самой ранней стадии выявить наиболее обещающие направления работ и, наоборот, "болевые точки" и бесперспективные направления. Использование такой методологии представляется особенно эффективным для России, имеющей значительный интеллектуальный потенциал и не имеющей достаточно денег для его полной реализации.

Источники

1. Journal of the British Interplanetary Society, 1974 - 1987 гг.
2. National Ignition Facility
3. NASA

И.Мусеев, 17.12.2002

Проект "Дедал" наиболее детально проработанный проект межзвездного аппарата. В рамках этого проекта выполнено большое количества работ по различным аспектам Проблемы МП. В качестве "Введения в проект "Дедал"" предлагаю свою статью к 30-летию Проекта.