

Проектирование межзвездных кораблей

ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ МК	2
Основные системы блока А (ДУ)	2
Основные системы блока Б (ДУ)	3
БЛОК А	4
Система создания тяги (AI)	4
Теневая КС	5
Электростатическая КС	5
Электромагнитная КС	6
Система энергоснабжения (AII)	7
Система поджига мишеней (AIII)	8
AIII.1. Система конденсаторов	8
AIII.2. Система генерации лучей	8
AIII.3. Система фокусировки	9
AIII.4. Система охлаждения	9
Система подачи мишеней (AIV)	9
Система терморегулирования (AV)	10
Система производства мишеней (AVI)	10
Система ориентации и коррекции (AVII)	10
Система контроля и управления (AVIII)	10
БЛОК Б	10
Система энергообеспечения (BI)	10
Система терморегулирования (BII)	11
Система жизнеобеспечения (BIII)	12
Система связи (BIV)	12
Система управления (BV)	12
Ремонтная система (BVI)	12
Средства высадки и освоения планеты (BVII)	12
Система обеспечения безопасности (BVIII)	13
ВОПРОСЫ, КОТОРЫЕ НАДО РЕШИТЬ В ПЕРВУЮ ОЧЕРЕДЬ	13
Блок А.	13
Блок Б.	13

Эта работа имеет своей целью обобщить и систематизировать полученные результаты в области проектирования МК, а также выявить слабые и неясные места.

Задача осуществления МП является наиболее трудной задачей такого плана, стоящей перед Человечеством за всю историю его существования. Эта трудность является следствием громадного масштаба работ, необходимых для выполнения МП и недостаточной технической базы, хотя теоретическую возможность МП можно считать доказанной.

На современном этапе работы по проблемам МП необходимо вести в следующих направлениях.

1. Проектирование МК и его систем с целью доказательства технической возможности МП.

2. Доказательства необходимости МП и начала работ над их осуществлением в настоящее время.

3. Рассмотрение проблем, связанных со строительством МК и обеспечением МП.

4. Изучение вопросов, связанных с осуществлением МП (лазерный синтез, астрономия, сверхпроводимость и т.д.)

Здесь анализируется первое направление работ.

Основные системы МК

МК конструктивно состоит из 2-х блоков, которые мало зависят друг от друга. Это двигательная система (блок А) и собственно корабль (блок Б). Двигательная система должна обеспечить разгон и торможение МК, коррекцию его движения и маневрирование в районе звезды-цели.

Двигательная система должна иметь следующие характеристики¹:

масса	не более 150 000 тонн
тяга	10^8 Н
расход горючего	10 кг/с
ресурс	22 года

Корабль (блок Б) должен обеспечить жизнедеятельность экипажа, связь с Землей, управление полетом и возможность освоения планеты звезды-цели.

Его основные характеристики:

экипаж	300 человек с возможностью увеличения до 600
масса	не более 50 000 тонн
ресурс	90 лет

Блок Б может иметь разные варианты, например:

- а) грузовой;
- б) пассажирский;
- в) автоматический, при той же ДС.

Основные системы блока А (ДУ)

АI. Система создания тяги (блок камер сгорания) КС.

АII. Система энергоснабжения (СЭС).

Подсистемы:

АII.1 – генератор.

АII.2 – система преобразователей.

АIII. Система поджига мишеней (СПМ).

Подсистемы:

АIII.1 – конденсаторная система.

АIII.2 – система генерации лучей.

АIII.3 – система фокусировки.

АIII.4 – система охлаждения.

АIV. Система подачи [мишеней] (СП).

Подсистемы:

АIV.1 – система разгона.

¹ Все конкретные цифры, приведенные в этой работе, относятся к проекту "Десант - 1".

АIV.2 – система управления мишенью.

AV. Система терморегулирования (СТР).

Подсистемы:

AV.1 – система отвода тепла.

AV.2 – система сброса тепла в пространство.

AVI. Система производства мишеней (СПрМ).

Подсистемы:

AVI.1 – отбор топлива.

AVI.2 – производство мишеней.

AVI.3 – транспортировка мишеней.

AVII. Система ориентации и коррекции (СОК).

Подсистема:

AVII.1 – Система ориентации.

AVIII. Система контроля и управления (СКУ).

Основные системы блока Б (ДУ)

БИ. Система энергообеспечения.

БII. Система терморегулирования.

БIII. Система жизнеобеспечения.

Подсистемы:

БIII.1 – система газоснабжения.

БIII.2 – система водообеспечения.

БIII.3 – производства пищевых продуктов.

БIII.4 – система искусственной гравитации.

БIII.5 – прочие системы (освещение и т.д.).

БIV. Система связи.

Подсистемы:

БIV.1 – система связи с МК эскадры.

БIV.2 – система связи с Землей.

БV. Система управления. Координационно-вычислительный центр.

БVI. Ремонтная система.

БVII. Средства высадки и освоения планеты.

БVIII. Система обеспечения безопасности.

Работа систем Блока Б должна быть независима от систем Блока А.

Автоматический вариант блока Б не включает системы БIII.

Грузовой вариант имеет сокращенную систему БIII (пилотируемый грузовик) или не включает подсистема БIII.2, БIII.3, БIII.4 (посещаемый вариант).

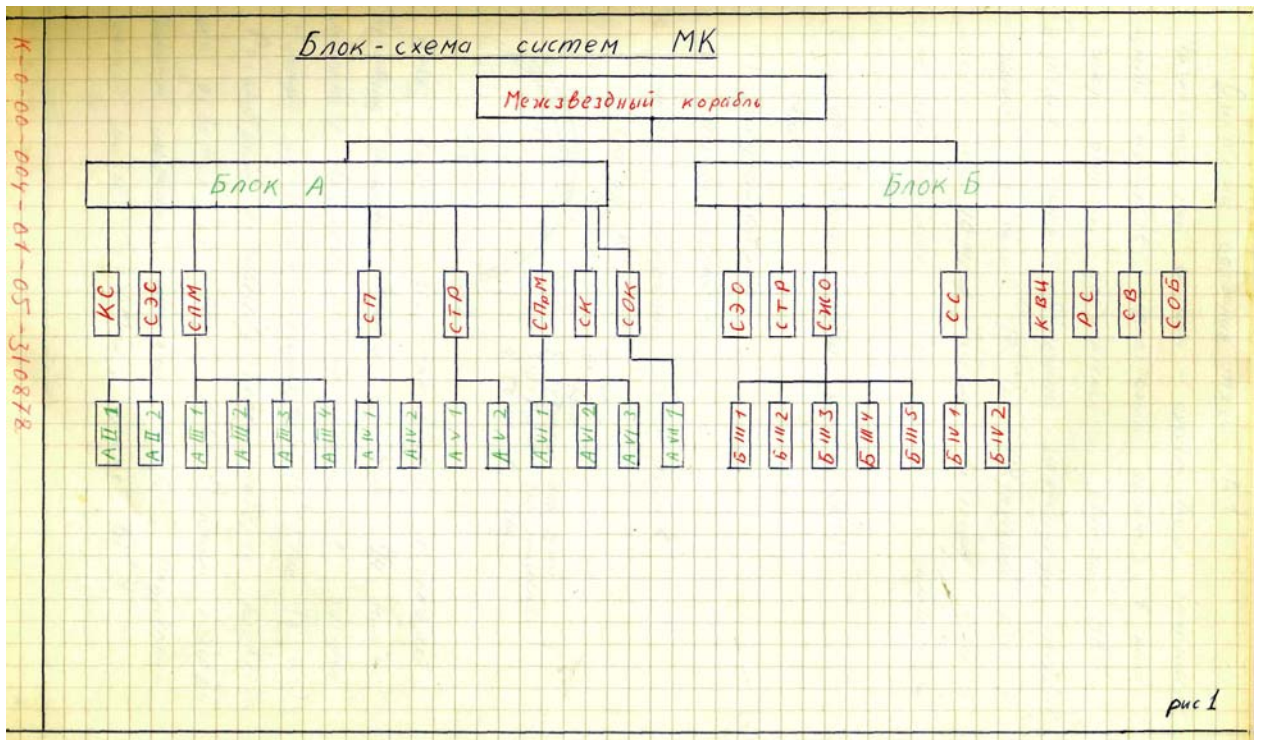


Рис.1. Блок-схема систем МК.

Блок А

Система создания тяги (АТ)

Назначение этой системы – преобразование энергии разлета продуктов термоядерного горения в кинетическую энергию поступательного движения МК. Система должно обеспечить эффективную скорость истечения порядка $10^6 - 10^7$ м/с и расход массы около 10 кг/с. Система включает в себя одну или несколько камер сгорания (КС) и силовые элементы.

Возможны три типа КС:

- а) теньевые,
 - б) электростатические,
 - с) электромагнитные,
- а также комбинации этих типов.

Теневая КС

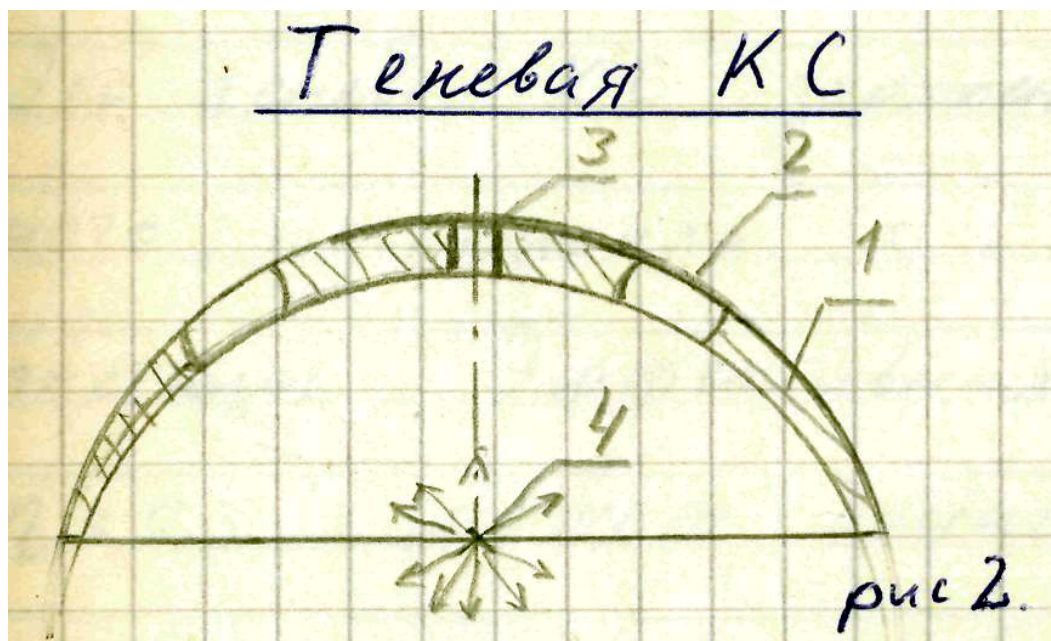


Рис.2. Теневая КС.

1. Экран.
2. Отверстия для лучей.
3. Отверстие для мишеней.
4. Точка взрыва.

Легко видеть, что такая КС поглощает половину энергии горения и дает 1/4 максимально возможного импульса, то есть эффективную скорость истечения $\approx 2 \cdot 10^6$ м/с ($\eta = 0,5$). Рассмотрим необходимое количество тепла, которое необходимо отводить от такой КС. Примем коэффициент сгорания мишени $\eta = 0,5$, расход массы около 10 кг/с, горючее Li^7H .

В секунду сгорает

$$\eta \cdot N = \eta \cdot m \cdot A / \mu = (10/8) \cdot 6,02 \cdot 10^{26} \approx 3,75 \cdot 10^{26} \text{ молекул/с.}$$

При сгорании одной молекулы выделяется

$$E_1 = 17,3 \text{ МэВ} = 2,78 \cdot 10^{-12} \text{ Дж,}$$

следовательно, необходимо отводить

$$E = \eta \cdot N \cdot E_1 = 0,5 \cdot 3,75 \cdot 10^{26} \cdot 2,78 \cdot 10^{-12} \approx 1,02 \cdot 10^{15} \text{ Вт}$$

или тысячу миллионов мегаватт, что является очень большой величиной.

Итак, к достоинствам КС этого типа относится простота, к недостаткам – большой вес, трудности терморегулирования, низкая эффективность, большая эрозия материалов.

Электростатическая КС

Электростатическая КС – теневая КС, заряженная до высокого положительного потенциала с тем, чтобы отталкивать α -частицы. Эффективная скорость истечения может достигать $\approx 8 \cdot 10^6$ м/с. Для работы этого типа КС необходимо создать разность потенциалов $17,3/2 = 8,65 \cdot 10^6$ В, что является весьма трудной задачей. Для поддержания такого потенциала необходим ток не менее $5 \cdot 10^8$ А (отвод электронов).

Достоинства системы – простота, надежность (если не рассматривать генераторы поля – небольшая масса). Однако сложности создания полей столь высоких напряженностей ставят под сомнение возможность осуществления таких КС.

Электромагнитная КС

В настоящее время предлагается два типа КС – "конус" и "тор".



Рис.3. КС типа "конус".

1 - защищающий соленоид, 2 - фокусирующий соленоид, 3 - силовые элементы, 4 - точка взрыва, 5 - конус потерь, 6 - экранирующее устройство.

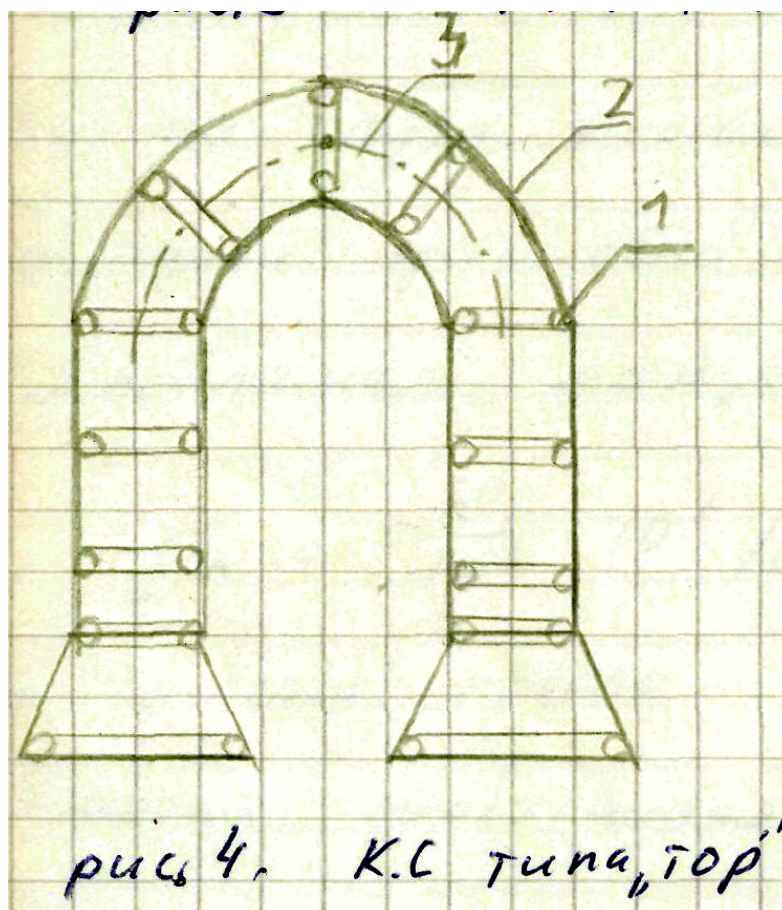


Рис.4. КС типа "тор".

1 – соленоиды, 2 - силовые элементы, 3 - линия взрывов.

Преимущества КС типа "тор" – отсутствие конуса потерь, недостаток – сложность и большой вес.

Теория работы и конструкция электромагнитных КС является одним из самых темных мест. Дополнительной трудностью является то, что аналогичных систем нет и поэтому к любым результатам в этой области нужно относиться весьма критично. Основная задача – создание теории работы электромагнитных КС и нахождение оптимальных параметров.

Система энергоснабжения (АII)

Эта система предназначена для получения и преобразования электроэнергии для питания всех систем двигателя. Основные потребители – система поджига (АIII), система подачи (АIV). Оценим мощность, потребляемую этими системами.

а) система поджига мишеней

Предполагается, что масса мишени $m_m = 1$ г, энергия луча поджига $E_n = 10^7$ Дж, КПД лазерной установки $\eta_L = 30\%$.

Тогда потребляемая мощность :

$$P_n = (m \cdot E_n) / (m_m \cdot \eta_L) = 3,3 \cdot 10^{11} \text{ Вт.}$$

б) система подачи мишеней

Энергия необходимая для разгона

$$P_p = m \cdot v^2 / 2,$$

где v – скорость мишеней.

Принимая КПД = 50% и $v = 5$ км/с получим $P_p = 2,5 \cdot 10^{11}$ Вт.

То есть основным потребителем электроэнергии является система поджига. Общее количество потребляемой электроэнергии, по-видимому, можно принять 10^{12} Вт или миллион мегаватт. Эту мощность вероятно нельзя обеспечить за счет реакторов (необходимо $\sim 10^3$ термоядерных реактора, проекты которых существуют в настоящее время) и должна обеспечиваться за счет отбора энергии из КС, в которой выделяется примерно 10^{15} Вт энергии.

Предложено три типа генераторов электроэнергии.

1. Индуктивный.

Этот метод отбора энергии основан на наведении тока в электромагнитной катушке за счет изменяющегося магнитного поля. Пример такого устройства описан в "Проблемы ЛТС".

2. МГД-генератор.

По-видимому, МГД-генератор необходимо ставить на "конус потерь". Разработка этого генератора осложнена тем, что генератор с рабочим телом таким, как в случае КС никогда не рассматривался.

3. Термоэлементы.

Это очень простая схема, однако, не ясна необходимая масса этого генератора.

Вообще говоря, вопрос генераторов электроэнергии весьма важен и совершенно не разработан.

Разработка системы преобразователей на данном этапе не имеет большого значения.

Система поджига мишеней (АШ)

Система поджига мишеней предназначена для инициирования термоядерной реакции в мишенях. Ее электрическая мощность $\sim 10^{12}$ Вт. Здесь рассматривается по подсистемам.

АШ.1. Система конденсаторов

Назначение – накопление электроэнергии и разряд на систему поджига. Накапливаемая энергия $\sim 10^{12} - 2 \cdot 10^{12}$ Дж. Возможны два варианта:

- 1) Электростатические конденсаторы.
- 2) Электромагнитные аккумулирующие катушки.

Характеристики этой системы сильно зависят от типа системы генерации лучей.

Разработок по системе конденсаторов нет.

АШ.2. Система генерации лучей

Назначение – генерация и модулирование лучей для поджига мишеней.

Основные типы системы:

- а) лазерная,
- б) электроннолучевая
- в) ядерная (облучение ядрами легких элементов)²

Кроме того системы различаются по количеству лучей на одну мишень.

Основные требования к системе генерации:

- система должна выделять в коротком модулированном импульсе достаточную энергию;
- обеспечивать число срабатываний в секунду;
- иметь возможно больший КПД.

Лазерные системы поджига наиболее отработаны. По-видимому, следует применять газовые CO_2 лазеры с ионизационной накачкой. КПД таких лазеров может достигать 50%, они могут давать импульсы короче наносекундного, работать при давлении 100 атм. Уже сейчас удалось реализовать энергосъем $50 \text{ Дж} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$. Это значит, что при давлении 100 атм объем активной среды 1МДж лазера составит всего 200 л.

Габариты выходной плоскости лазера определяются лучевой плотностью полупрозрачного зеркала. Если взять, например, покрытие $\text{Sb}_2\text{S}_3 + \text{SrF}_2$ и подложку Ge с пороговым потоком энергии $10 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$ и пороговым потоком мощности $2,5 \cdot 10^7 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$, то апертура 1МДж лазера будет равна $2 \cdot 10^5 \text{ см}^2$ (коэффициент запаса 2) ($4,5 \times 4,5 \text{ м}$). Однако в связи с развитием космических технологий существует большая вероятность того, что лучевая прочность материалов будет существенно повышена.

Электронно-лучевая и ядерная система накачки менее отработаны, однако необходимо не выпускать из виду и эти варианты.

² Сейчас называется ионной. Ядра тяжелых элементов тоже рассматриваются.

Важное требование к лазерной системе – минимальная длина волны излучения. Это связано с поглощением света мишенью. Электроионизационные лазеры CO_2 допускают возможность перестройки частоты.

АИИ.3. Система фокусировки

Система фокусировки должна обеспечить точное попадание на быстродвижущуюся мишень сфокусированного луча. В зависимости от точности работы системы подачи, зеркала системы фокусировки могут быть выполнены неподвижными или поворотными. Конечно, 1-й вариант гораздо лучше.

Предполагая лучевую прочность выходных зеркал $150 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$ ($\text{Cu} - 300 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$) получим для 1МДж лазера апертуру $6,7\cdot 10^3 \text{ см}^2$. Для 8-пучковой системы фокусировки диаметр зеркал будет составлять $2\cdot 0,164 \text{ м} \approx 0,33 \text{ м}$.

Эти зеркала работают в напряженном тепловом режиме и нуждаются, по-видимому, в принудительном охлаждении.

АИИ.4. Система охлаждения

Эта система должно отводить к радиаторам $\sim 10^{12}$ Вт тепла. Она является очень разветвленной, с различными теплоносителями и теплообменниками. Наибольшая сложность будет иметь система охлаждения активной среды лазеров. В системе, по-видимому, будет применяться большое количество тепловых трубок, активная разработка которых ведется в настоящее время.

Система подачи мишеней (AIV)

Система подачи должна обеспечивать доставку мишени в точку взрыва в нужное время с высокой скоростью и частотой. Эта система вместе с системой поджига обеспечивает необходимый расход массы (m) – одну из важнейших характеристик МК, которую необходимо сделать максимально большей. Число ускорителей подачи связано с другими параметрами ДУ следующим соотношением:

$$N = m / (m_m \cdot v_1 \cdot n \cdot k),$$

где: N – число ускорителей,

m – расход массы,

m_m – масса мишени,

v_1 – частота вспышек лазера,

n – число КС,

k – число КС, обслуживаемых одним ускорителем.

Энергопотребление системы, как было показано выше, составляет $10^7 - 10^8$ Вт.

Системы подачи могут быть:

1. Электростатическими.
2. Электромагнитными.
3. Механическими.

Наиболее отработаны электростатические ускорители.

Электромагнитные ускорители могут иметь несколько меньшую массу длину, однако они нуждаются в специальных носителях мишеней, которые должны иметь длинный участок замедления.

Система управления мишенью (AIV.2) должна, по-видимому, работать на электростатическом принципе и в связи с высокой точностью использовать фотоэлектрические датчики.

Система терморегулирования (AV)

Назначение системы терморегулирования – поддержание рабочих температур в элементах конструкции (например, криогенных в обмотках камер сгорания) и сброс тепла в пространство. Количество тепла, сбрасываемого в пространство, зависит в основном от излучения из КС и от доли излучения, которая падает на элементы конструкции корабля. Считая эту долю $k_1 = 5\%$ и излучение 10^{14} Вт ($P_{из}$) получаем $P = 5 \cdot 10^{12}$ Вт, что по порядку величины совпадает с количеством тепла отводимого от системы поджига. Оценим площадь и вес радиаторов.

$$S = P / (k \cdot \sigma \cdot T^4)$$

Принимаем $k = 0,8$, $T = 1500^\circ \text{ К}$, тогда $S \approx 2,2 \cdot 10^7 \text{ м}^2$, что дает в лучшем случае 22 000 тонн.

Хотя и ясно, что эта величина вполне реальная, необходимо принять все меры для ее снижения. Основные пути – снижение доли поглощающей площади, увеличение ее отражающих характеристик (в данных расчетах не учитывалось), улучшение характеристик радиаторов.

Необходимо оценить электрическую мощность системы терморегулирования.

Система производства мишеней (AVI)

Система производства мишеней должна обеспечить отбор топлива, изготовление мишеней, контроль их, складирование и транспортировку к ускорителям. При массе одной мишени 1 г система должна обеспечить производство 10^7 мишеней в секунду или $3 \cdot 10^{11}$ мишеней в год. Дело осложняется тем, что LiH имеет плохие технологические характеристики и, кроме того, его точка плавления находится недалеко от точки разложения, так что при плавлении неизбежна диссоциация. Разработок по этой системе нет.

Система ориентации и коррекции (AVII)

В инерционном полете МК, по-видимому, лучше всего стабилизировать вращением. На активном участке в системе должны быть задействовано несколько поворотных КС или КС с изменяющимся магнитным полем.

Должны быть предусмотрены ДУ большой тяги для увода МК с опасной траектории (при угрозе столкновения).

Разработок по системе нет.

Система контроля и управления (AVII)

Эта система в разработке пока не нуждается.

Блок Б

Система энергообеспечения (БI)

Система энергообеспечения блока Б должна обеспечить электроэнергией блок Б в течение полета на активном и пассивном участках траектории, а также зарядку

конденсаторов АПП.1 в случае повторного запуска двигателей. Система энергообеспечения имеет в своей основе термоядерный или ядерный реактор, вынесенный на штангах и снабженный теневой биологической защитой и автономными радиаторами.

В книге Кузнецова "Ядерные реакторы космических энергетических установок" описана космическая ядерная электростанция, которую можно принять за основу энергоустановки блока Б. Она имеет следующие характеристики:

Электрическая мощность – 13000 МВт ($1,3 \cdot 10^{10}$ Вт).

Сброс тепла – 19000 МВт ($1,0 \cdot 10^{10}$ Вт).

Масса – 9000 тонн (учитывая ненужность передающей антенны, некоторых служебных систем можно принять – 4000 тонн).

Радиатор

$$T = 750^\circ\text{K} - 1,2 \cdot 10^5 \text{ м}^2$$

$$T = 1000^\circ\text{K} - 3 \cdot 10^4 \text{ м}^2$$

Стоимость 13 млрд \$ (можно снизить за счет развития технологий).

Энергетическая схема с замкнутым МГД-циклом.

Реактор бридерный (с воспроизводством делящегося горючего).

Время зарядки конденсаторов двигательной установки такой системой:

$2,0 \cdot 10^{12}$ Дж / $1,3 \cdot 10^{10}$ Вт $\approx 1,5 \cdot 10^2$ с (2,5 мин, с учетом того, что эта энергоустановка не может полностью работать на ДУ – 25 мин).

Оценим необходимую массу делящихся элементов.

Энергия выработанная энергоустановкой за 100 лет (ее ресурс):

$$E_{\text{полн}} = P \cdot t = 1,3 \cdot 10^{10} \cdot 3,15 \cdot 10^7 \cdot 100 = 4,1 \cdot 10^{19} \text{ Дж}$$

При делении одного ядра U^{235} выделяется энергия ≈ 200 МэВ или $3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж, таким образом, понадобится $\approx 1,3 \cdot 10^{30}$ ядер.

Масса ядра $m_{\text{я}} \approx 235 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг = $3,9 \cdot 10^{-25}$ кг.

Для получения нужной энергии потребуется $1,3 \cdot 10^{10} \cdot 3,9 \cdot 10^{-25}$ кг = $5,1 \cdot 10^5$ кг или 510 тонн.

Учитывая, что выгорание не 100%, а также необходимый запас других расходуемых материалов можно считать запас веществ необходимых для работы энергоустановки 5 000 тонн, а суммарный вес энергоустановки 10 000 тонн (с радиаторами).

Однако часть этой массы, примерно 1 000 тонн будет сброшена на активном участке полета МК.

Система терморегулирования (БИ)

Система терморегулирования должна обеспечить поддержание рабочих температур в различных установках, нормальной температуры в блоке СЖО и сброс в пространство примерно 25000 МВт тепла.

Конструктивно система состоит из 3-х частей:

- охлаждение энергоустановки (сброс примерно 10 000 МВт);
- охлаждение блока СЖО;

- охлаждение элементов вне блока СЖО (в этом случае следует широко прибегать к системам пассивного терморегулирования, как наиболее простой и надежной).

Система жизнеобеспечения (BIII)

Система жизнеобеспечения должна обеспечить нормальное существование экипажа в течении примерно 100 лет. Она должна иметь замкнутые газо-, водо- и пищевые циклы и должна быть спроектирована так, чтобы система имела возможность расширения для экипажа порядка 1000 чел. Большинство установок системы жизнеобеспечения сосредоточены в блоке искусственной гравитации. Система должна включать большой и разнообразный ряд биообъектов, с целью облегчения развертывания биосферы на планете звезды-цели.

Система связи (BIV)

Система связи разделена на 2 системы – система связи с Землей и система связи с другими кораблями эскадры.

Система связи с Землей должна обеспечить передачу $5 \cdot 10^8$ бит/с информации на расстояние до 5 св.лет. Система включает примерно 100-метровую приемо-передающую антенну на МК и околосолнечную космическую станцию связи с диаметром антенны 30÷50 км.

Система связи с МК эскадры – должна обеспечить передачу примерно 10^8 бит/с информации на расстояние до 10^6 км. В том случае, если система связи с Землей оборудованы не все МК, то система связи с МК должна обеспечить передачу примерно $6 \cdot 10^8$ бит/с.

Передача должна вестись на длине волны 10 см (частота $3 \cdot 10^9$ Гц), однако, по-видимому, можно будет увеличить длину волны для того, чтобы снизить требования к изготовлению антенн.

Возможны помехи от ДУ.

(Интересен вопрос, с какого расстояния может быть обнаружен факел ДУ).

Система управления (BV)

Система управления должна быть полностью автономной. В разработке пока не нуждается.

Ремонтная система (BVI)

Ремонтная система должна обеспечить ремонт, восстановление и реконструкцию всех систем МК [*ремонт, профилактику и реконструкцию*]. Она включает в себя мастерские, лаборатории и большой запас материалов и оборудования.

Средства высадки и освоения планеты (BVII)

Средства высадки включают в себя две-четыре грузопассажирские ракеты с ядерными двигателями, способные выполнять неоднократные полеты по маршрутам МК-планета-МК и МК-МК. В случае необходимости они должны быть способны принять на борт весь экипаж МК.

Средства освоения должны включать в себя энергоустановки для развертывания на планете, материалы для построения герметичных сооружений с СЖО, транспортные средства и т.д. МК, выведенный на орбиту вокруг планеты, будут использоваться как базовые спутники и орбитальные энергостанции.

Система обеспечения безопасности (БVII)

Вопросы, которые надо решить в первую очередь

Блок А.

AI. Конструкция КС, ее габариты, масса и тяга.

AII. Конструкция генератора.

AIII.1. Масса и габариты конденсаторной системы. Возможность применения электромагнитных генераторов.

AIII.2. Конструкция, габариты, масса лазерной системы.

AIII.3. Расстояние, на котором можно сфокусировать луч лазера. Нагрев зеркал.

AIV. Конструкция, габариты и масса.

AV. Масса и размеры радиаторов. Электрическая мощность системы охлаждения.

AVI. Оценка массы и энергопотребления.

Блок Б.

BIII. Конструкция, масса и габариты блока искусственной гравитации.

BIV. Выбор частоты. Потребляемая мощность.

BVIII. Масса и габариты ракет высадки.

Этот список не включает в себя вопросы по физике процессов, влиянию среды, общих вопросов и вопрос компоновки МК.

K0-00-004-01-22-310878

И.Моисеев, 31.08.1978