Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Балтийский Государственный Технический Университет

«Военмех» им. Д.Ф. Устинова»

Факультет А «Ракетно-космической техники»

Кафедра А3 «Космические аппараты и двигатели»

**Отчёт по НИР**

**«Исследование возможности создания выносных энергетических установок космического аппарата»**

Выполнил: Смирнов., гр.А3М32

Проверил: Бабук В.А.

Санкт-Петербург

2018 г.

Оглавление

[Введение 3](#_Toc515193949)

[1. Теория принятий решений 4](#_Toc515193950)

[2. Обзор систем отодвижения рабочих модулей КА 11](#_Toc515193951)

[3. Сравнение методов ТПР. 2](#_Toc515193952)3

[Заключение 2](#_Toc515193953)6

[Список литературы 2](#_Toc515193954)7

# Введение

В современных условиях, с усложнением уровня техники слишком дорого приходится платить за принятие недостаточно обоснованных решений.

Теория принятия решений (ТПР)– научная дисциплина, рассматривающая методы и средства, помогающая лицу принимающему решение (ЛПР) прийти к наилучшему выбору из имеющихся альтернатив.

Данная работа посвящена изучению возможности применения методов ТПР на ранних этапах проектирования с целью исследования возможности создания систем отодвижения рабочих модулей КА.

Потребность в данной системе возникает при применении на космических аппаратах (КА) ядерной энергетической установки (ЯЭУ). В КА с ЯЭУ одним из основных требований к конструктивно‑компоновочной схеме (ККС) КА является требование обеспечения радиационной стойкости оборудования, обеспечивающего работу ЯЭУ, и оборудования приборно‑агрегатного отсека (ПАО) с радиационно-чувствительной аппаратурой управления, при условии обеспечения минимальной массы выводимого КА. Система обеспечивает отдаление источника ионизирующего излучения (т. е. ЯЭУ) на заданное расстояние, чтобы обеспечить в зоне нахождения аппаратуры радиационный фон не более, чем требуется для ее корректной работы.

# Теория принятий решений

Целью теории принятия решений (ТПР) является оказание помощи в выборе наилучшего пути действия лицу принимающему решение (ЛПР) в условиях множества альтернатив. Под ЛПР может пониматься как один человек, так и группа лиц. В таком случае говорят о групповом принятии решений.

Процесс принятия решения состоит из последовательных этапов и общем случае является итерационным. Этапы включают в себя постановку задачи, выработку перечня решений (возможных альтернатив) и их анализ, выбор решения, анализ результатов.

Альтернативы сравниваются между собой и оцениваются посредством определения их предпочтительности. Предпочтение – это оценка качества принятия решения, основанная на опыте, знаниях, проведенных расчётах и экспериментах, а так же субъективном понимании эффективности решений.

Для выбора наилучшего решения индивидуальное ЛПР определяет критерий выбора. Групповое ЛПР делает выбор на основе принципа согласия. Конечным результатом задачи принятия решений является предписание к действию.

Решение является допустимым если оно удовлетворяет ограничениям (ресурсы, условия эксплуатации и т.п.). Решение называется оптимальным, если критерий выбора достигает максимального значения или удаётся добиться согласованности при групповом выборе.

Особое место в ТПР занимают многокритериальные задачи, которые наиболее полно отражают окружающую действительность. Традиционно выделяют следующие основные задачи:

1. Упорядочивание альтернатив – определение их относительной ценности
2. Распределение альтернатив по классам решений – разделение альтернатив на заслуживающие и не заслуживающие более детального рассмотрения.
3. Выделение наилучшей альтернативы.

При этом можно выделить две группы задач. Различие заключается в том, что задачи первой групп имеют определенное число альтернатив, количество которых не меняется после выработки методики принятия решений. Из их числа и выбирается наиболее выгодная. Задачи второй группы упорядочивают все возможные альтернативы по качеству и разбивают их по классам, установленным ЛПР.

Формализуем задачу данной работы. Цель: необходимо разработать систему отодвижения ЯЭУ КА. Конструкция при этом должна удовлетворять следующим критериям:

* она должна обладать минимальными массой и габаритами;
* система должна быть надёжной и экономически выгодной;
* должна иметь возможность наземной отработки.

По возможности конструкция должна быть простой и технологичной. Так как длина отодвижения установки непосредственно зависит от мощности ЯЭУ, то так же необходимо предусмотреть возможность масштабируемости конструкции. Помимо этого не должна нарушаться работа других систем, т.е. должна быть предусмотрена возможность прокладки бортовой кабельной сети от энергоустановки до рабочей аппаратуры. Также необходимо учесть возможность размещение системы сброса избыточной тепловой мощности ЯЭУ, а также системы обеспечения тепло-регулирования.

Для решения задачи может быть построена модель, выражающая предпочтения ЛПР.

* 1. Метод экспертных оценок [1]

Сущность метода заключается в проведения экспертами анализа проблемы с последующей количественной оценкой суждений по сформулированным критериям. Обобщенное мнение группы экспертов принимается как решение проблемы.

Задачи ТПР можно разбить на два класса: задачи с достаточной информационной оснащенностью и недостаточной. Для решения задач первого класса у экспертов имеется большой объем знаний и опыта их преодоления. И по отношению к этим проблемам –эксперты являются достаточно точным и качественным источником.

В отношении проблем второго класса эксперты уже не являются точным источником информации . Мнение одного эксперта может быть очень близким к истине, в то время как мнение его коллег сильно от него отличаться.

Подбор количественного и качественного состава экспертов производится в зависимости от анализа масштаба решаемой задачи. Основным этапом работы является анкетирование.

Существуют различные варианты методов экспертных оценок, применяемые в зависимости от специфики поставленной задачи.

Один из наиболее известных методов экспертных оценок - это метод "Дельфи". Он состоит из нескольких анкетных туров. Перед проведением каждого тура, за исключением первого, экспертам, работающим, как правило, независимо друг от друга, сообщаются результаты предыдущего тура. После чего эксперту предлагается либо изменить и пояснить свою оценку при сильном отклонении от общего среднего либо дать аргументированный ответ в защиту своей позиции. Конечным результатом может оказаться выявление двух или более групп мнений, отражающих принадлежность экспертов к различным научным школам.

Для проведения оценивания экспертов необходимо выбрать шкалу оценивания. Наиболее удобной в этом плане является порядковая шкала. В качестве порядковой шкалы может выступать ранжирование свойств в порядке возрастания/убывания либо бальная система, позволяющая сравнивать свойства и различные характеристики объекта оценивания.

Для получения обобщенного мнения группы экспертов находятся медиана и среднее значение.

Таким образом этапы метода экспертных оценок состоят в:

* Проведение анкетирования;
* Обработка результатов, нахождение медианы и среднего;
* проведение последующих туров анкетирования, с целью уточнения мнения экспертов и их последующая обработка.

Наилучшего решение находится согласно методу Лапласа [5]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1.1) |

где:

– оценка *j-го* варианта решения по *i-му* критерию;

– количество критериев.

* 1. Построение модели предпочтительности методом аналитической иерархии (МАИ) [2,4].

Процесс принятия решений с использованием данного метода состоит из нескольких этапов:

Первый этап заключается в структуризации задачи в виде иерархической структуры с несколькими уровнями: цели -критерии—альтернативы.

На втором этапе ЛПР выполняет попарные сравнения элементов каждого уровня. Результаты сравнений переводятся в числа.

Вычисляются коэффициенты важности для элементов каждого уровня. При этом проверяется согласованность суждений ЛПР.

Подсчитывается количественный индикатор качества каждой из альтернатив и определяется наилучшая альтернатива.

Для проведения парных сравнений применяется словесная шкала определения уровня важности, при этом каждому определению ставится в соответствие число(см. табл.1).

*Таблица 1 — Шкала относительной важности.*

|  |  |
| --- | --- |
| Уровень важности | Количественное значение |
| Равная важность | 1 |
| Умеренное превосходство | 3 |
| Существенное или сильное превосходство | 5 |
| Значительное (большое) превосходство | 7 |
| Очень большое превосходство | 9 |
| |  | | --- | | Промежуточные решения между двумя соседними суждениями | | 2, 4, 6, 8 |

Далее в матричном виде происходит сравнение элементов одного уровня. При сравнении веса суждения А относительно В в матрицу вводится отношение . Обратная величина вводится в качестве сравнения В относительно А. Пример приведен в табл.2.

*Таблица 2 — Матрица сравнения для критериев*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Критерии | С1 | С2 | С3 |
| С1 | 1 | 5 | 1/2 |
| С2 | 1/5 | 1 | 1/9 |
| С3 | 2 | 9 | 1 |

Таким же образом происходит сравнения альтернатив по критериям – табл.3.

*Таблица 3 — Матрица сравнения альтернатив в рамках одного из критериев критериям*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Критерий С1 | | | |
| Альтернатива | А | В | С |
| А | 1 | 7 | 3 |
| В | 1/7 | 1 | 3 |
| С | 1/3 | 1/3 | 1 |
| Критерий С2 … | | | |

Для определения локальны приоритетов, для каждой таблицы матриц необходимо вычислить собственный вектор строки и нормализовать значение относительно единицы. В работе [3] для осуществления поиска нормального вектора предлагается находить геометрическое среднее путем перемножения элементов строки и извлечения корня *n- ой* степени, где n– число элементов.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1.2) |

Где :

— собственный вектор критерия *i*;

— оценка критерия *i* в сравнении с критерием *j;*

*n —* количество критериев.

Далее просуммируем собственный вектора и найдем нормализованный вектор :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Для обработки результатов группового решения также применяется метод среднегеометрического. Здесь под групповым решением понимается результат опроса нескольких экспертов. Нормализованный вектор критерия при групповом решении имеет вид:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1.3) |
|  |  | (1.4) |

Где:

— собственный вектор критерия *i* на основе оценки несколькими экспертами;

*k —* количество экспертов

Данные таблиц позволяют рассчитать коэффициенты важности соответствующих элементов. После чего вычисляется показатель качества *j-й* варианта решения: Определение наилучшей альтернативы осуществляется по формуле:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1.5) |

Где:

— показатель качества j-й альтернативы;

— вес i-го критерия;

— важность j-й альтернативы по i-му критерию.

Таким образом метод можно представить как совокупность следующих этапов:

* анкетирование экспертов;
* на основе анкетирования построение матриц важности критериев и матриц сравнения альтернатив;
* определение весовых коэффициентов критерия и альтернативы;
* определение по формуле (1.5) качества решения.

Определение наилучшей альтернативы осуществляется как максимальный показатель качества решения:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

* 1. Построение модели предпочтительности методом многокритериальной теории полезности [2,3].

Суть метода заключается в построении для каждого из критериев своей функции полезности, которая имеет математическое обоснование. Далее проверятся условия определяющие вид и возможность существования многомерной функции полезности, и на основе одномерных функций строится многокритериальная функция полезности.

Для построения одномерной функции полезности (ОФП) необходимо знать количественные оценки альтернатив по данному критерию. Рассмотрим этот процесс применительно к нашей задаче. Допустим, эксперты оценили надежность (вероятность безотказной работы) и стоимость пяти конструкций см. табл. 4.

*Таблица 4 —* Оценки по двум критериям

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Критерий/Конструция | К1 | К2 | К3 | К4 | К5 |
| Надежность (ВБР) | 99.9 | 95.8 | 98 | 94 | 99.999 |
| Стоимость (у.е) | 98 | 89 | 94 | 80 | 100 |

Для построения функции полезности произведем ранжирование от «более» полезной альтернативы к менее «полезной» внутри критерия: 99.999, 99.9, 98, 95.8, 94. Важно понимать, что ранжирование, т.е. определение уровня полезности для каждого критерия будет свое. Например, если помимо надежности рассмотреть стоимость, то порядок полезности данного критерия будет такой: 80, 89 , 94 ,98, 100. Зная диапазон изменения оценок по каждому из критериев можно построить функцию, определяющую полезность для каждой оценки из этого диапазона. Будем полагать, что максимальное значение функции –1, минимальное –0. При этом мы ставим в соответствие «наиболее» полезному значению –1, «наименее» –0. Таким образом, нам известны две крайние точки функции полезности.

Для нахождения промежуточных точек нам необходимо абстрагироваться от решаемой задачи, а именно от дискретности полученных значений, а также ввести некоторые определения. Предположим, что мы рассматриваем одну конструкцию по одному критерию и значения этого критерия мы можем изменять в установленных нами ранее пределах. Для приведенного ранее критерия надежности это будут значения от 94 до 99,999.

Лотереей называется игра с двумя исходами: исход *х* с вероятностью *р* и исход *у*, с вероятность *1-р*.

Детерминированным эквивалентом лотереи L называется величина *х*, такая, что принимающий решение безразличен в выборе между участием в лотерее L и получением *х* наверняка.

Для получения промежуточных точек ОФП необходимо определить детерминированные эквиваленты. Например, определим точку полезность которой равна 0,5. Для этого представим, что у нас есть два выбора, первый это участие в «лотерее» и, как следствие, конструкция с равной вероятностью можем принимать наихудшее и наилучшее значение надежности. И второй вариант — это точное значение показателя надежности, которое будет у выбранной конструкции ( детерминированный эквивалент). Таким образом нам необходимо определить такое значение показателя надежности при, котором нам становится безразлично участие в лотерее.

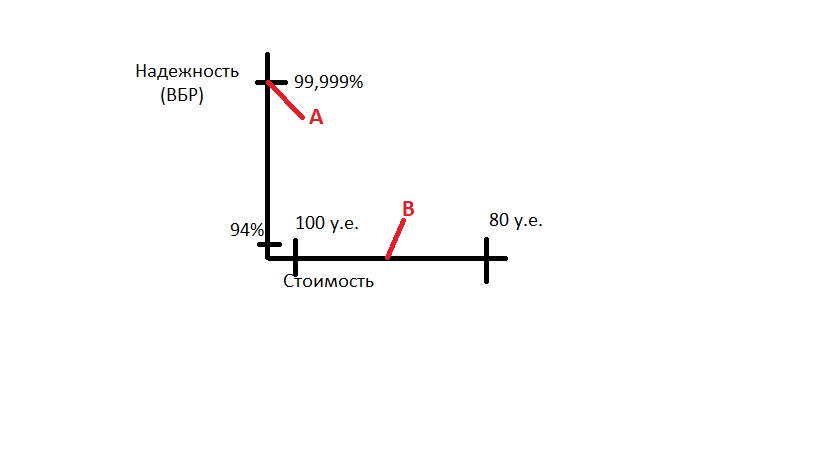
Для получения точек с u(x)=0,25 и u(x)=0,75 необходимо найти детерминированные эквиваленты для промежутков 94 – 96,5 и 96,5 – 99,999.

Под не склонностью к риску понимается такое поведение функции полезности, при котором ЛПР ожидает получить наверняка минимальный выигрыш, вместо участия в этой лотерее. Под риском же понимается обратное поведение. В [1] рассмотрены доказательства того, что тот или иной тип поведения влияет на вид функции полезности. Так например, чем больше ЛПР[[1]](#footnote-1) склонен к риску тем более выпуклым является график функции полезности ( график проходит над некоторыми детерминированными величинами) .

После того как мы нашли некоторые характерные качественные и количественные свойства функции полезности, нужно выяснить, являются ли они согласованными. То есть существует ли функция полезности, обладающая одновременно каждым из них?

Все эти действия позволяют сузить и подобрать подходящий вид функции полезности.

Для определения весового коэффициента w необходимо так же проранжировать критерии в порядке их предпочтительности от более к менее предпочтительному. Отношения между весами критериев устанавливаются поиском точек безразличия на плоскостях двух критериев. Лицо, принимающее решение, просят назвать такое значение , при котором последствия А ( ) и В ( ) оказываются равноценными, т.е. их полезности равны (*max* и *min* максимальное и наименьшее значение по предпочтительности по критерию 1 и 2). Например мы говорим, что альтернативы с надежностью 99.999% стоимостью 100 у.е и 94%, но 90 у.е. равноценны

****

*Рисунок 1 — Определение отношение между весами критериев Надежность и Стоимость*

Можно записать следующее выражение:



Где – функция одномерной полезности по 1-му критерию.

Таким образом можно установить как соотносятся критерии относительно одного, наиболее важного и задавшись весом этого критерия определить вид критериальной функции полезности.

Если  ,то функция полезности является мультипликативной. Значение константы k можно определить, зная значения  необходимо итеративно решить уравнение:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1.6) |

В итоги выражение для функции полезности имеет вид:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1.7) |

либо

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1.8) |

где :

*U, Ui*— функции полезности, изменяющиеся от 0 до 1;

*wi* —коэффициенты важности (веса) критериев, причем 0< *wi* <1;

коэффициент *k* > - 1 .

Таким образом, этапы метода многокритериальной теории полезности сводятся к :

* опросу экспертов с целью получения качественных оценок;
* построение однокритериальных функций полезности на основе опроса;
* определение коэффициентов функции полезности по формулам (1.7 и 1.8);

Наиболее «полезным» признается вариант решения удовлетворяющих выражению:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1.9) |

# Обзор систем отодвижения рабочих модулей КА

Для дальнейшей работы был проведен обзор запатентованных систем отодвижения рабочих модулей КА. Патентный поиск проводился в следующих разделах:

– «Конструктивные элементы ядерных энергетических установок, вспомогательные устройства» (G21D 1/02);

– «Космические летательные аппараты основные составные части летательного аппарата и оборудование, устанавливаемое на нем или внутри него» (B64G1/22).

Ключевые слова поиска: «система отодвижения или отведения», «устройство выдвижения».

Помимо этого в параграфе 2.5 предложена оригинальная система отодвижения.

* 1. «Устройство для выдвижения рабочих модулей космического аппарата»

Патент РФ 2136549

*Публикация патента:* 10.09.1999.

*Авторы:* Белоскурский И.М., Гаврилов Л.Н.

*Патентообладатель:* АО "Красная Звезда".

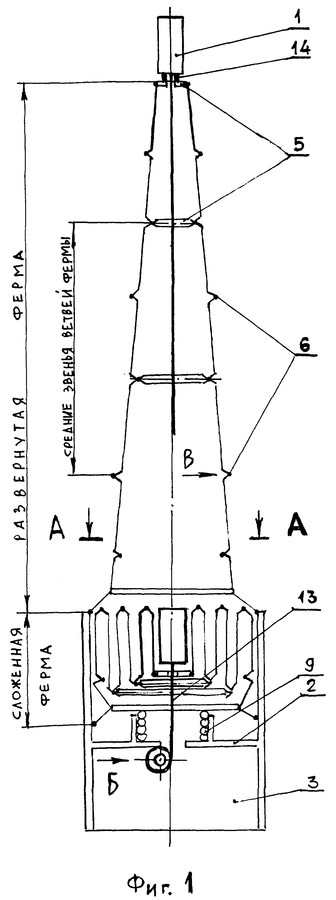
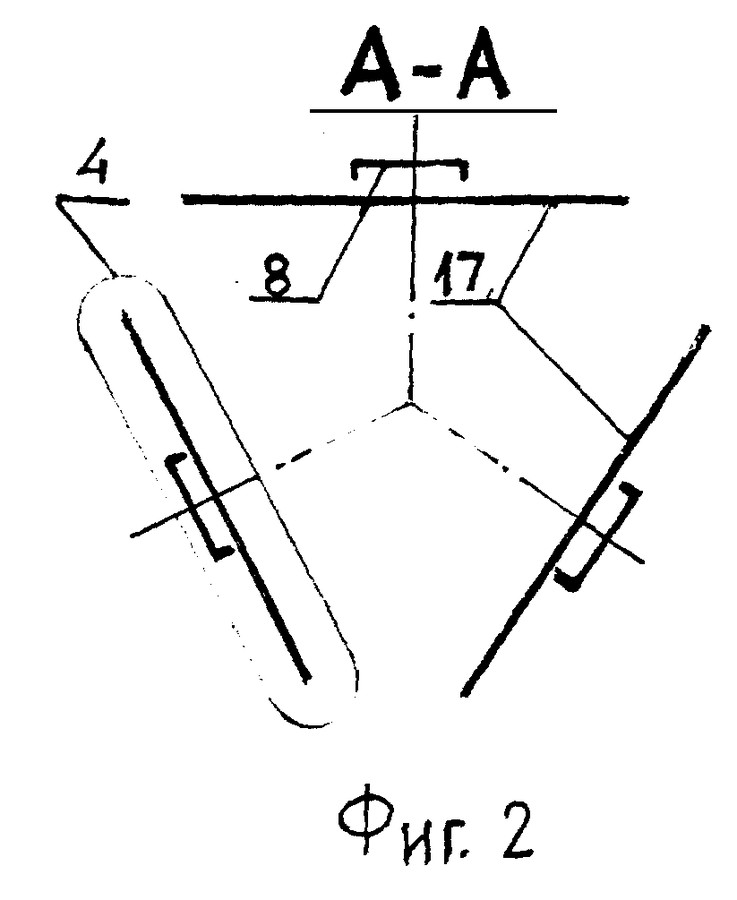
Описание устройства (рис 2-5):

Устройство для выдвижения рабочих модулей 1 космического аппарата, содержащее установленную на опорной платформе 2 приборного отсека 3 космического аппарата ферму - систему выдвижения в виде складывающихся многозвенных ветвей 4, равнорасположенных по окружности и соединенных шпангоутами 5 через шарниры 6 с осями 7 звеньев 8, оно снабжено толкателем, выполненным, например, в виде пружинного механизма сжатия 9, который установлен в центре опорной платформы 2, и тормозной системы, на оси 10 которой установлены тормозные колодки 11 и барабан 12, к которому прикреплен канат 13, соединяющий опорную платформу 2 приборного отсека 3 с модулем 1 космического аппарата; причем между модулем 1 и крайним к нему шпангоутом 5 установлены демпферы 14.

Предложенное устройство работает следующим образом.

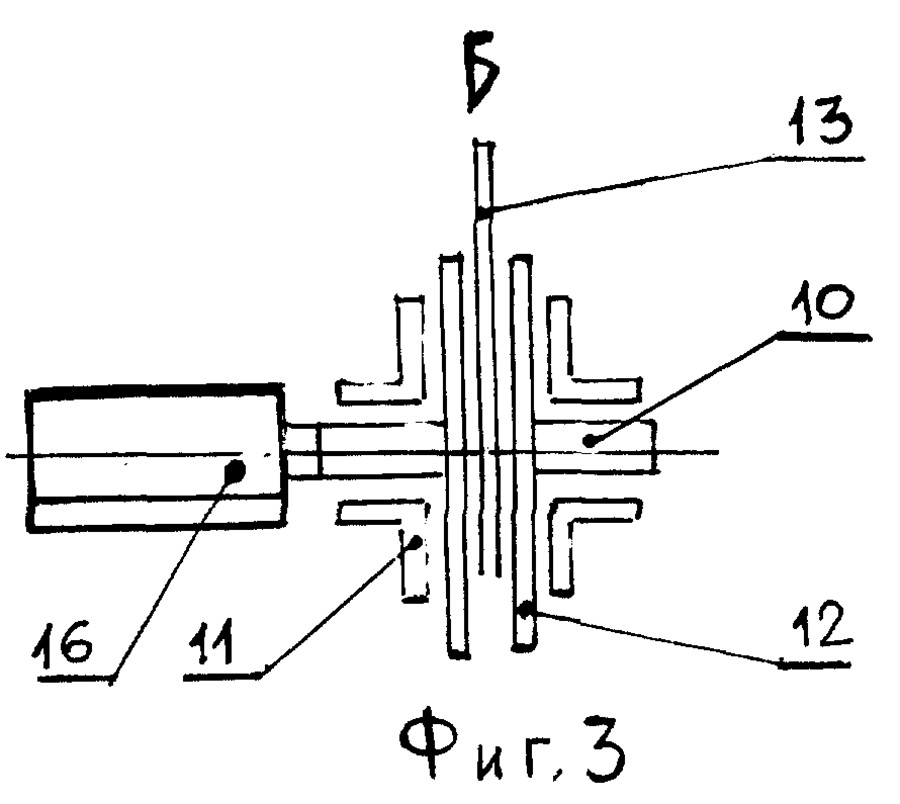
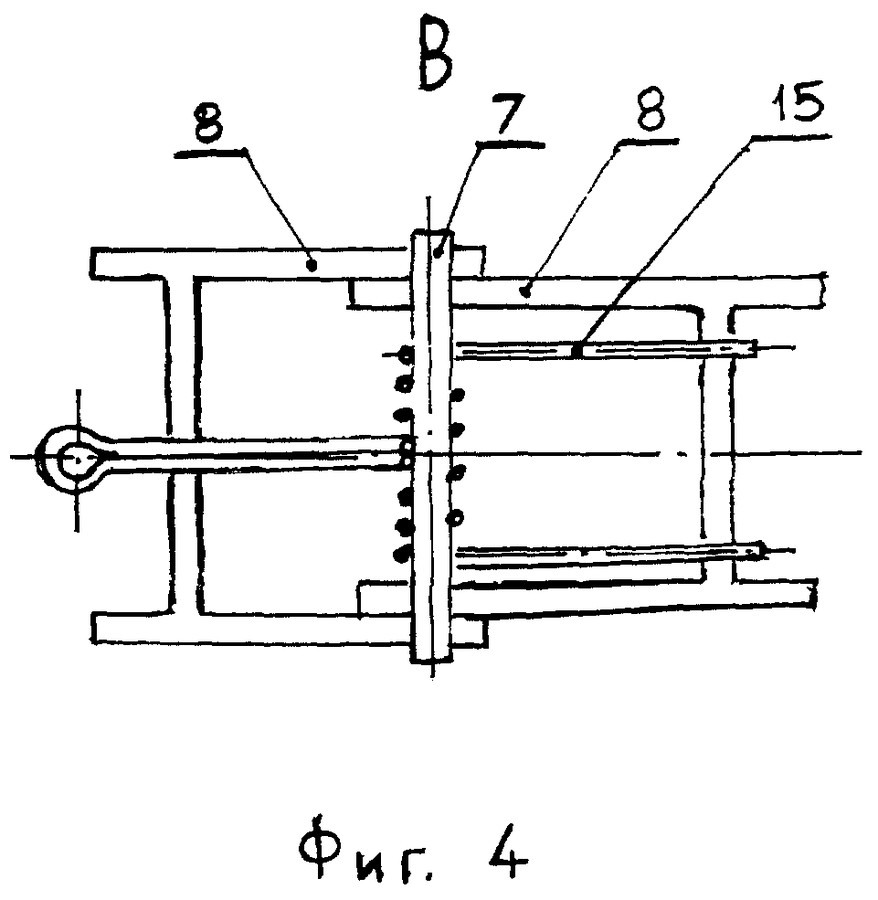
Для приведения в действие системы выдвижения ослабляются тормозные колодки 11 и срабатывает толкатель, 9 (пружинный механизм сжатия)

Далее осуществляется раскрытие фермы - системы выдвижения и происходит последовательное раскрытие сложенных многозвенных ветвей 4 за счет ускорения полученного модулем 1 при "разгоне" в начале срабатывания пружинного механизма сжатия 9. Масса модуля 1 "плывет" с регулированием скорости вращения оси 10 и барабана 12 тормозными колодками и в конце торможения модуль 1 останавливается канатом 13, как фалом. Пружины кручения 15, установленные на осях 7 звеньев раскрытия 8, компенсируют потери энергии в узлах раскрытия на трение или перекос

.  

*Рисунок 3 - поперечное сечение складывающихся ветвей устройства.*

*Рисунок 2- устройство для выдвижения рабочих модулей КА в сложенном и развернутом (рабочем) виде.*

*Рисунок 5-пружинный узел системы выдвижения***.**

*Рисунок 4 -тормозной узел привода устройства.*

*Недостатки системы:*

1. Увеличение массы в следствии применения мощных пружин.

2. Усилие не прикладывается к элементам конструкции на всем этапе отодвижения, а только в начальный момент, что требует достаточно точной имитации условий невесомости в процессе отработки системы отодвижения.

3.Ограничение расстояния отодвижения в следствии малой жесткости конструкции.

4. Описанная конструкция содержит большое количество шарнирных соединений, в которых в условиях вакуума может произойти «холодная сварка».

* 1. «Ядерная энергетическая установка космического аппарата».

**Патент РФ 2225809**

*Публикация патента:* 20.03.2004.

*Авторы:* Андреев П.В., Галкин А.Я., Еремин А.Г. и др.

Патентообладатель: АО "Красная Звезда".

Описание конструкции (рис. 6-7):

Предлагаемая ЯЭУ содержит энергетический блок с последовательно расположенными по оси ядерным реактором, радиационной защитой и агрегатами жидкометаллического контура. Этот блок имеет систему выдвижения и холодильник-излучатель, излучающие панели которого размещены на шарнирных балках. Балки сложены в стартовом положении по трем продольным плоскостям вокруг энергетического блока.

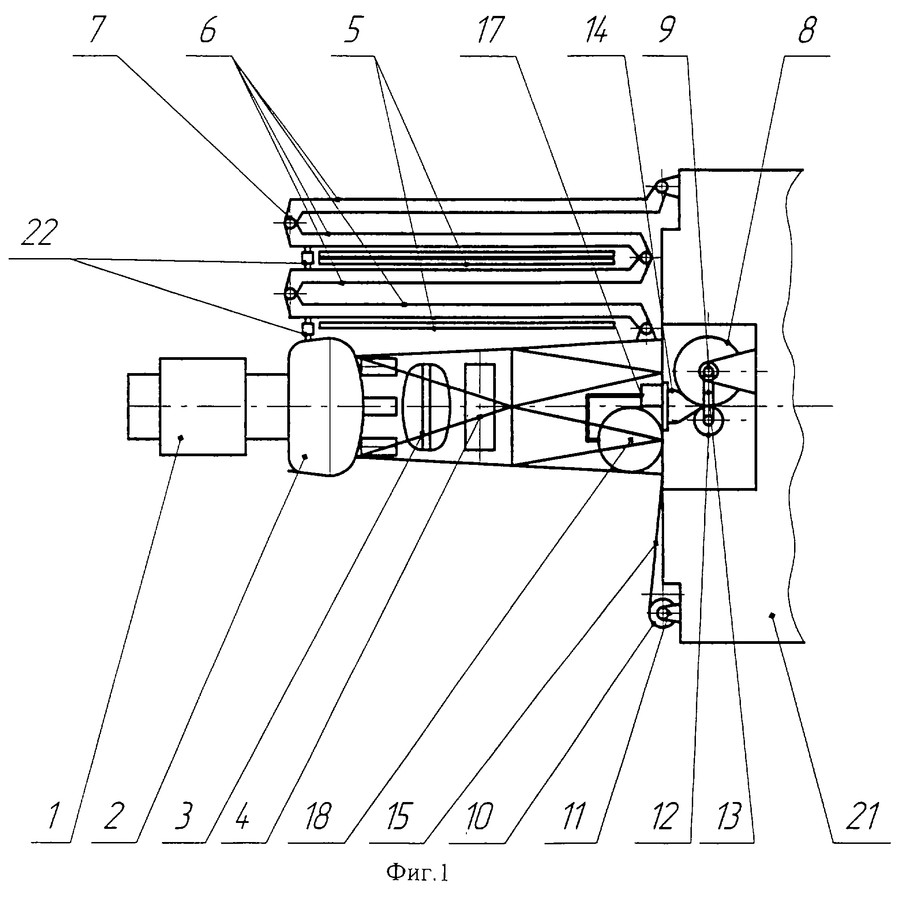
Конструкция системы отодвижения состоит из расположенного на космическом аппарате барабана 8 с намотанным на него газонепроницаемым рукавом 7, материалом которого может служить металлическая лента либо синтетическая ткань. Барабан снабжен приводом 9, придающим ему вращательное движение. Свободный конец газонепроницаемого рукава герметично закреплен на кольцевом фланце 16, расположенном на энергоблоке. Аккумулятор давления 18 через редуктор 17 соединен с газонепроницаемым рукавом. В месте схода его с барабана помещен валик 12, прижимающий рукав к барабану с помощью связующего элемента 13, например пружины.

Электрические коммуникации, идущие от реактора на космический аппарат, разводятся по трем жгутам 19 и размещаются на балках, тем самым исключается сам процесс развертывания кабелей, способных ввести силовое возмущение в развертывание балок. В местах сочленения балок силовые кабели снабжены гибкими электропроводящими элементами 20.

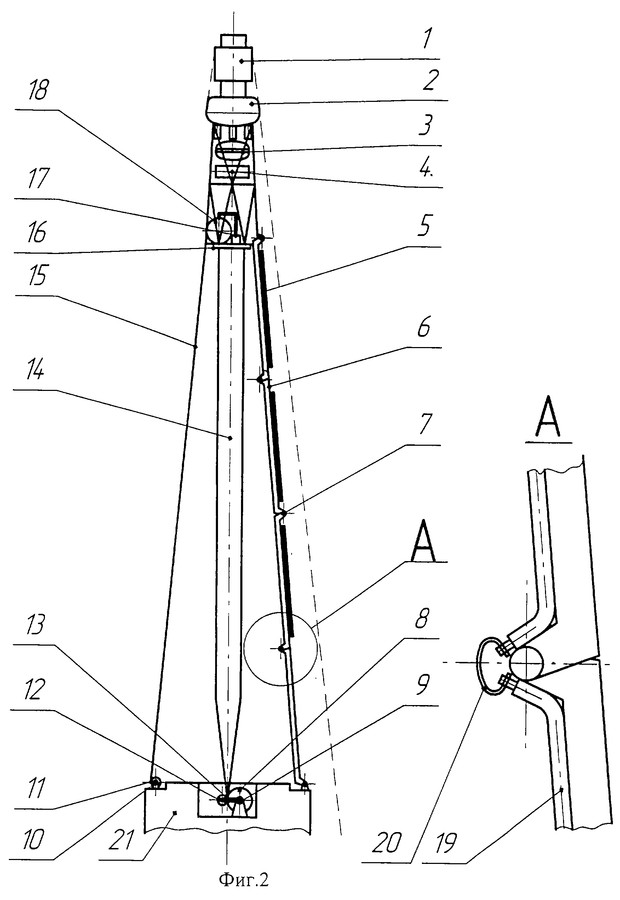
Наличие пиропатронов 22 в местах крепления пары балок при нахождении их в сложенном состоянии обеспечивает управляемое и последовательное разложение балок при отодвижении энергетического блока.

Дополнительную устойчивость процессу отодвиженния придают тросы 15, одним концом закрепленные на энергоблоке, а другим - на барабанах 11, размещенных на космическом аппарате. Привода 12, соединенные с барабанами 11, позволяют осуществлять регулируемое натяжение тросов во время отодвижения энергоблока.

Предлагаемая конструкция ЯЭУ работает следующим образом .По команде происходит срабатывание пиропатронов 22, освобождающих внешнюю пару балок и позволяющих им начать процесс раскладки после отделения энергоблока от космического аппарата. После этого из аккумулятора давления 18 через редуктор 17 происходит подача давления в газонепроницаемый рукав 14. Одновременно с подачей давления начинается вращение барабана 8, постепенно освобождающего рукав. Под действием давления газа рукав на участке между фланцем 16 и барабаном 8 с прижимающимся к нему валиком 12 надувается, приобретая конструктивную жесткость, и воздействует на энергетический блок, отодвигая его от космического аппарата. Разматываемые при этом тросы 15 позволяют отслеживать возможные перекосы отодвижения энергоблока и своевременно их парировать. Одновременно эти тросы могут быть использованы для складывания ЯЭУ при наземной отработки системы отодвижения.

После раскладки первой пары балок и фиксации шарниров проходит команда на срабатывание следующих пиропатронов 22 и вторая пара балок начинает раскладку под действием наполняемого газом рукава 14, формируя, таким образом, совместно с другими балками ферму.

*Рисунок 6 – начальное положение.*



*Рисунок 6 – орбитальное (рабочее) положение*

*Недостатки данной системы:*

1.Ограничение расстояния отодвижения в следствии малой жесткости конструкции.

2. Описанная конструкция содержит большое количество шарнирных соединений, в которых в условиях вакуума может произойти «холодная сварка».

3. При увеличении требуемой длины отодвижения увеличивается длина рукава, как следствие необходим большой перепад давления.

4. К материалу рукава предъявляются жесткие требования по герметичности и и радиационной безопасности.

5. Для обеспечения должной степени герметичности к укладке рукава предъявляется ряд ограничений, вследствие которых при определенной длине рукава значительно увеличиваются массово-габаритные характеристики системы укладки.

* 1. «Ядерная энергетическая установка космического аппарата».

Патент РФ 2474893

*Публикация патента:* 10.02.2013

*Авторы:* Еремин А. Г., Шитц Э.Н., Максименко Д. В.

*Патентообладатели:* АО "Красная Звезда",  Государственная корпорации по атомной энергии "Росатом".

Описание конструкции (рис. 8-9):

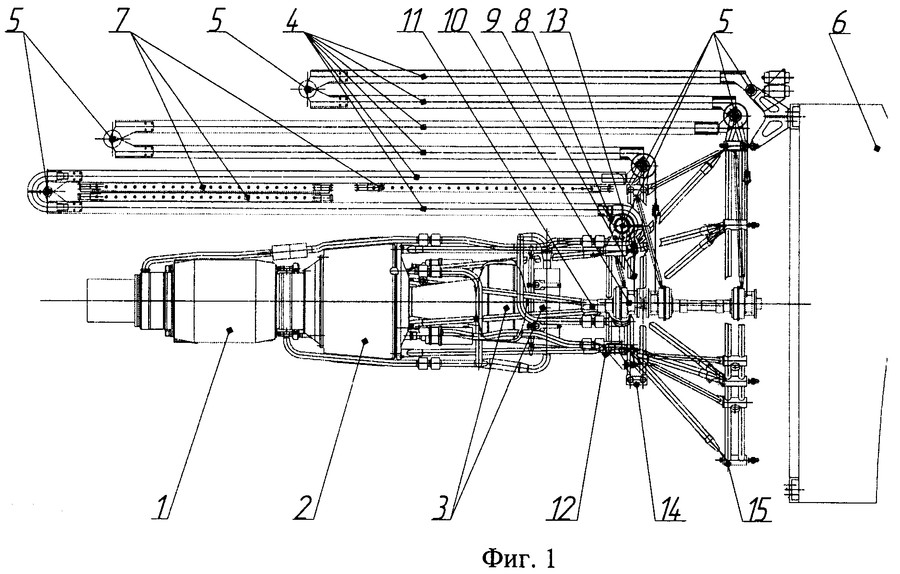
ЯЭУ содержит энергетический блок с последовательно расположенными по оси ядерным реактором 1, радиационной защитой 2 и агрегатами 3 жидкометаллического контура (ЖМК). Система отодвижения энергетического блока представляет собой балки 4, сложенные в стартовом положении по трем продольным плоскостям вокруг энергетического блока и соединенные между собой шарнирами 5, позволяющими балкам при отодвижении энергетического блока раскладываться с образованием при их фиксации трех стержней. Они формируют ферму, в вершине которой размещен энергетический блок с реактором 1, а в основании - космический аппарат 6. На балках размещены панели холодильника-излучателя (ХИ) 7 (рис8).

На валу шарнира каждой из трех нечетных (считая с отодвигаемого энергетического блока) балок выполнен шкив 8, на котором закреплен трос 9 таким образом, что, проходя по шкиву при своем натяжении, обеспечивает вращение вала по часовой стрелке. Другой конец троса закреплен на расположенном по оси ЯЭУ барабане 10, снабженном электроприводом 11. Электропривод и барабан зафиксированы на шпангоуте 12, относительно которого происходит поворот балки со шкивом. Таким образом, на барабан приходит три троса от трех шкивов, размещенных на валах нечетных (ведущих) балок. Каждый трос снабжен пружиной 13, например, тарельчатой, усилие которой и соответствующая ей деформация при нагрузке обеспечивают раскрытие и фиксацию всех балок независимо от натяжения тросов. Аналогичной конструкцией снабжены следующие две пары балок, закрепленных на соседних шпангоутах 14 и 15.

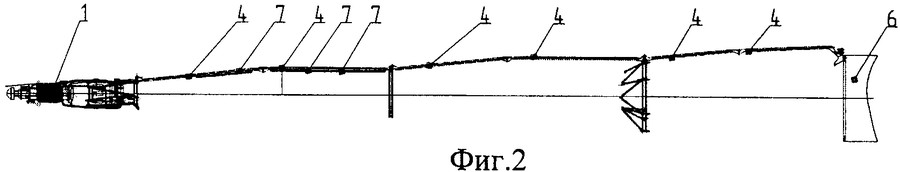
Предложенное устройство работает следующим образом

При команде на отодвижение энергетического блока от космического аппарата включается электропривод, закрепленный внутри шпангоута, ближайшего к космическому аппарату. На его кронштейнах установлены ведущие балки. Электропривод через редуктор приводит во вращение барабан с намотанными на него тремя тросами, идущими на шкивы ведущих балок. Натяжение тросов обеспечивает начало вращения шкивов, установленных на валах ведущих балок. Разворачиваясь по часовой стрелке, ведущие балки приводят во вращение ведомые, обеспечивая тем самым разворот ведущих и ведомых балок.

В результате выполняется отодвижение энергоблока на длину развернутых балок. Размещенные на тросах пружины, например, тарельчатые обеспечивают установку всех трех пар развернутых балок на фиксаторы независимо от натяжения трех тросов, наматываемых на общий барабан. После срабатывания фиксаторов подается команда на разворот двух следующих пар балок, и процесс повторяется.



*Рисунок 7 – Стартовое положение*



*Рисунок 8 – Рабочее( орбитальное) положение*

*Недостатки системы:*

1. Ограничение расстояния отодвижения в следствии малой жесткости конструкции.

2. Описанная конструкция содержит большое количество шарнирных соединений, в которых в условиях вакуума может произойти «холодная сварка».

* 1. «Устройство для отведения ядерной энергетической установки от приборно-агрегатного отсека космического аппарата»

**Патент РФ 2535356**

Публикация патента: 10.12.2014

Авторы: Косенко А. Б., Синявский В.В.

*Патентообладатель:* АО "Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П. Королева"

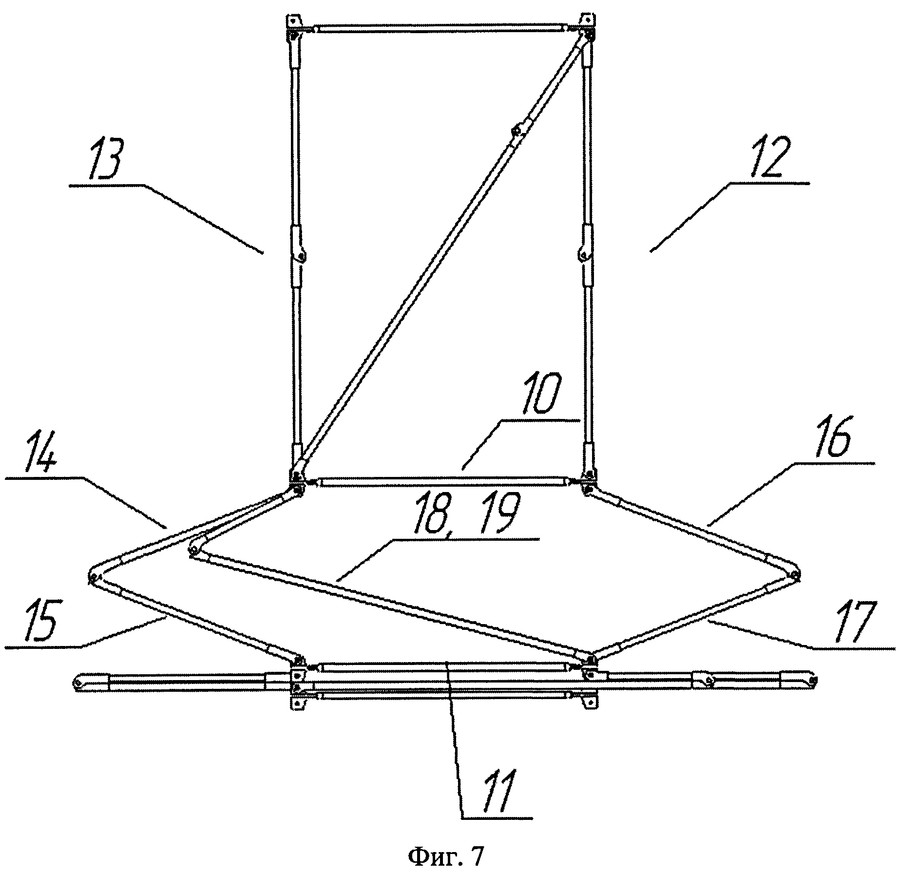
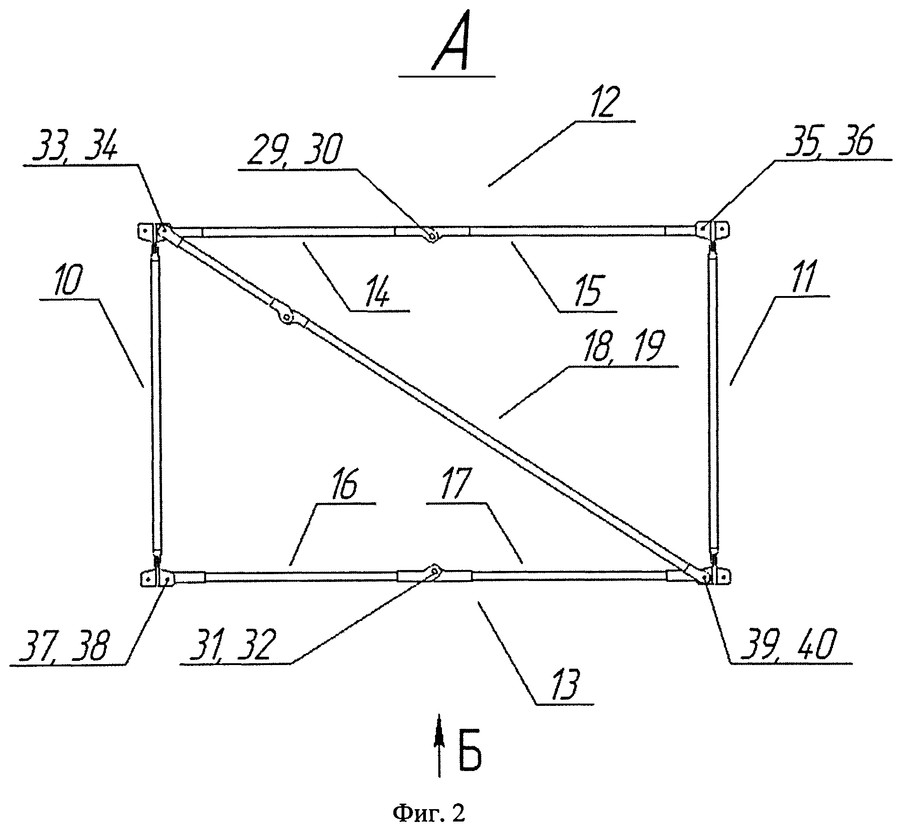
Описание конструкции (рис.10-15):

Устройство для отведения ЯЭУ представляет собой трансформируемую пространственную ферменную конструкцию, базовым элементом которой является секция в форме параллелепипеда с квадратными основаниями, общими для двух смежных секций, со складывающимися боковыми гранями на двух противоположных сторонах секции и со складывающимися диагоналями по одной на двух других противоположных сторонах. Основания, боковые грани и диагонали выполнены из полых стержневых элементов и соединены между собой шарнирными узлами. Диагонали смежных секций установлены разнонаправлено, а продольные и поперечные стержневые элементы боковых граней и оснований скреплены между собой фитингами, образуя с двух противоположных складывающихся боковых граней секции по две скрепленные между собой жесткие рамы. В шарнирных узлах установлены фиксаторы конструкции в развернутом состоянии. Пружины кручения в шарнирных узлах установлены на осях вращения и закреплены в проушинах фитингов, а фиксаторы конструкции в развернутом состоянии выполнены в виде защелки.

Предложенное устройство работает следующим образом.

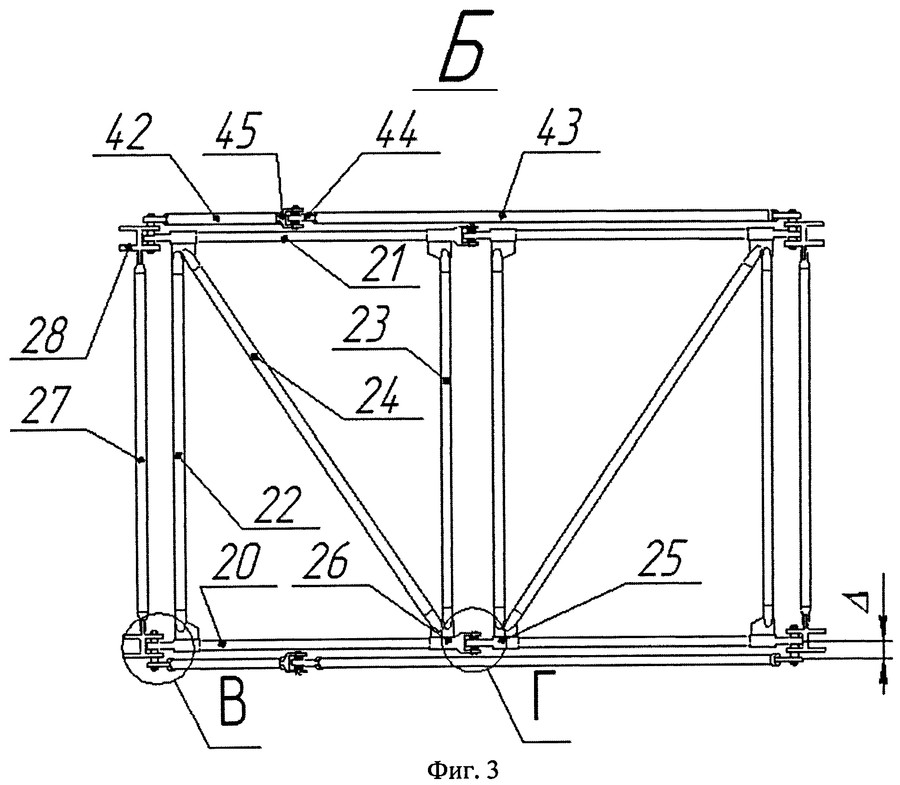
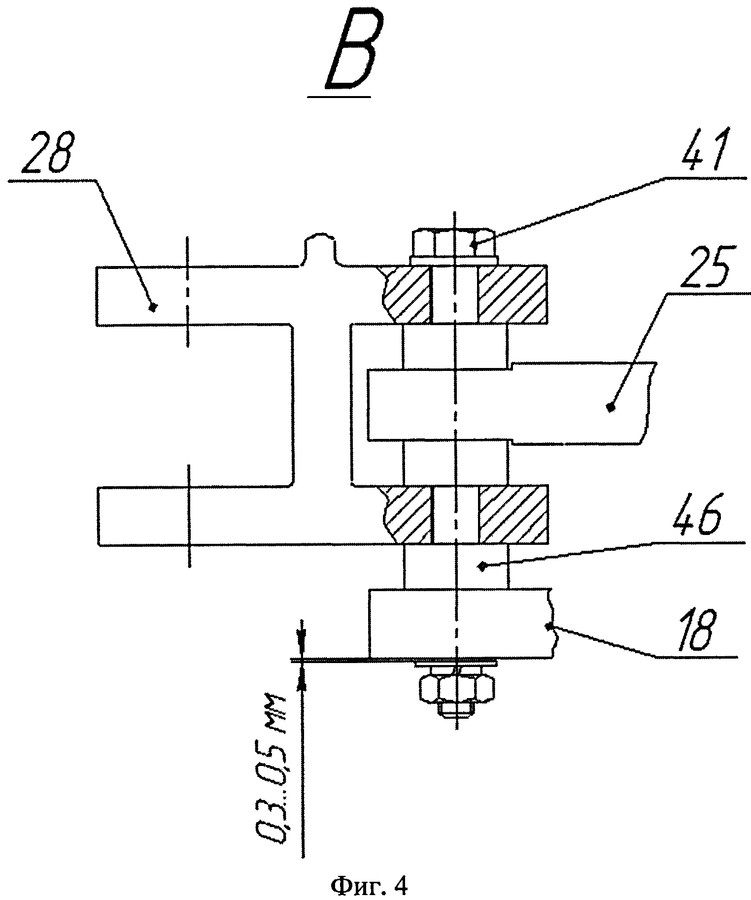
По команде с земли производится подрыв пироболтов и раскрытие стыка опорного шпангоута приборного отсека 5 и фланца на силовом каркасе ХИ ЯЭУ. Под действием пружины кручения 47, находящиеся в сложенном состоянии, попарно соединенные рамы 14 и 15, 16 и 17 совершают вращательное движение друг относительно друга вокруг оси 48 шарнира до тех пор, пока угол между ними не достигнет 180°. При этом шарниры, соединяющие смежные рамы друг с другом, совершают поступательное движение во встречном направлении внутрь секции. Основания 10 и 11 совершают поступательное движение вдоль продольной оси ферменной конструкции в противоположных направлениях. Также под действием пружин кручения 47, установленных в шарнирных узлах в местах сложения диагоналей 18 и 19, происходит вращательное движение друг относительно друга стержневых элементов 42 и 43, составляющих диагональ секции.

Ограничение вращательного движения боковых рам 14 и 15, 16 и 17 друг относительно друга при достижении положения, соответствующего углу 180°, обеспечивается установкой в шарнирах упорной оси 52, в которую упирается пятка фитинга 25 боковой рамы 15. Фиксация конструкции в развернутом состоянии обеспечивается следующим образом. В процессе раскрытия конструкции упорная ось 51, установленная в фитинге 25 боковой рамы 15, совершает вращательное движение вокруг оси 48 шарнира. При этом упорная ось 51 сначала входит в контакт с поверхностью 50 защелки 49, поджатой плоской пружиной 53. Далее в процессе раскрытия конструкции точка контакта смещается на поверхность 51 и перемещается по ней до контакта упорной оси 52 с поверхностью 54 пятки фитинга 25. При этом вращение упорной оси 52 вокруг оси 48 шарнира с одной стороны ограничивается пяткой фитинга 25, с другой - защелкой 49 под действием плоской пружины 53.

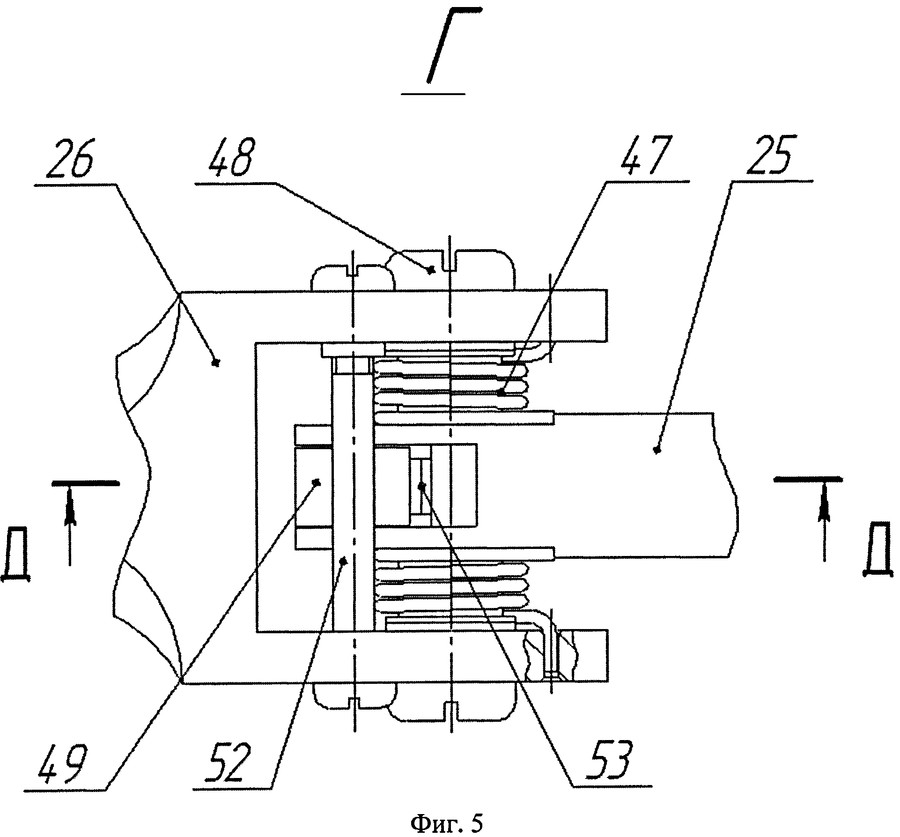
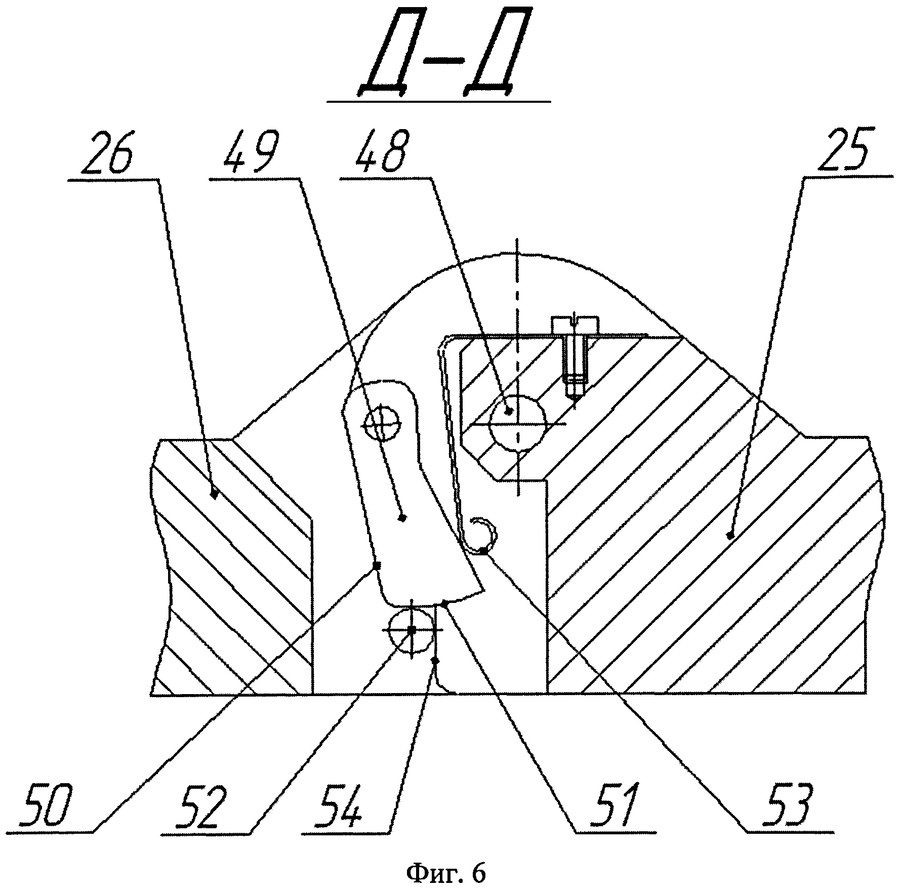
*Рисунок 10— трансформирование конструкции из сложенного состояния в развернутое.*

*Рисунок 11 — вид спереди на одну секцию ферменной конструкции устройства отведения*

*Рисунок 13—шарнирный узел крепления диагонали секции*

*Рисунок 12—вид сбоку*

*Рисунок 15 —шарнирный узел соединения смежных рам в продольном сечении*

*Рисунок 14 —шарнирный узел соединения смежных рам*

*Недостатки системы:*

1. Ограничение расстояния отодвижения в следствии малой жесткости конструкции.

2. Описанная конструкция содержит большое количество шарнирных соединений, в которых в условиях вакуума может произойти «холодная сварка».

* 1. Альтернативная система отодвижения

Рассмотрим применение другой системы отодвижения.

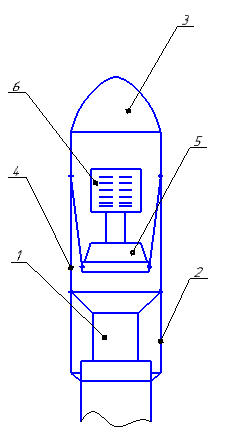
На чертежах (фиг. 16-19) приведена ККС предлагаемой системы отодвижения:

- стартовое положение - фиг.1;

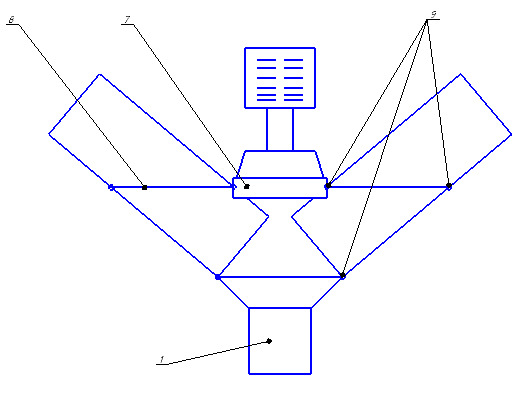
- орбитальное положение - фиг.3;

- промежуточное положение - фиг.2;

- электромеханический привод - фиг.4.



*Рисунок 16 — Стартовое положение*



*Рисунок 17 — Промежуточное положение*

В состав КА входит:

- блок обеспечивающих систем (БОС) –1,

- сбрасываемые цилиндрические части ГО – 2,

- конические створки ГО – 3,

- раздвижные цилиндрические створки ГО (принадлежность системы отодвижения) – 4,

- энергетический блок –5,

- холодильники-излучатели –6,

- электромеханический привод –7,

- штанги –8, 12

В состав конструкции электромеханического привода входит:

- шарнирные соединения –9,

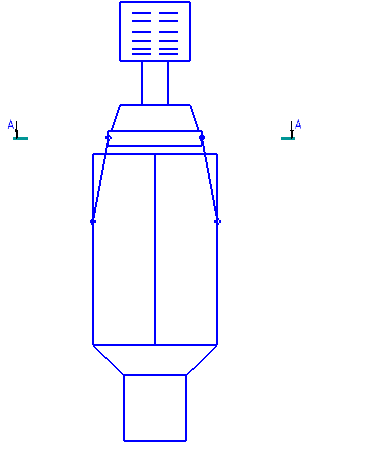
- электродвигатель —10,

- планетарный редуктор — 11,

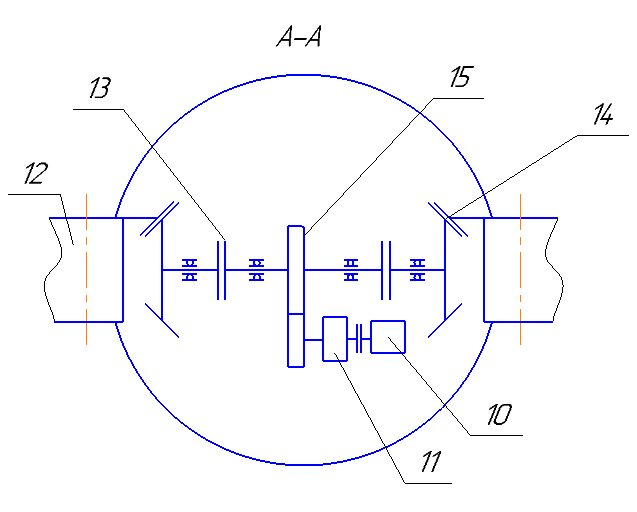
- предохранительная муфта —13,

- коническая передача —14,

- цилиндрическая передача — 15.



*Рисунок 18 — Орбитальное положение*



*Рисунок 19 — Электромеханический привод*

ЯЭУ крепится консольно к приводному блоку, который в свою очередь закреплен на коническом переходнике посредством пиротехнических устройств.

Предлагаемая система отодвижения работает следующим образом. По команде системы управления (СУ), когда КА находится на расчетной орбите, на пиротехнические устройства подается напряжение, в результате чего происходит их срабатывание. После этого на электродвигатель 10 подается питающее напряжение. Через механическую передачу, состоящей из редуктора 11, цилиндрической передачи 15 крутящий момент передается к штангам 12, которые соединяется с приводом посредством конического зацепления 14. В свою очередь, штанги воздействуют на створки ГО 5. Начинается отодвижение ЯЭУ от блока обеспечивающих систем 3, в процессе которого створки ГО сначала раскрываются, а затем смыкаются. На фиг. 3 отмечено промежуточное положение ЯЭУ. Во избежание перекосов при раскрытии устанавливаются предохранительные муфты 13.

Цилиндрические части (2) и конические створки ГО (3) сбрасываются на этапе выведения после прохождения плотных слоев атмосферы, когда аэродинамическое воздействие на элементы конструкции минимально.

Предложенная конструкция системы отодвижения выгодно отличается от альтернативных в части массогабаритных характеристик за счет того, что цилиндрическая часть ГО является частью предлагаемой системы отодвижения.

# Сравнение методов ТПР.

В результате проведения практической работы были применены методы, описанные в главе 1 данной работы. Ниже представлены результаты, а также приведены сравнения этих методов.

В качестве экспертов выступили работники АО КБ «Арсенал» им. Фрунзе. Экспертам были выданы сопроводительные материалы с описанием конструкций приведенных в главе 2, помимо этого они были ознакомлены с описанием методик ТПР. Далее проводился опрос, который в случаях с методом экспертов («Дельфы») и МАИ представлял собой анкетирование. Метод же функции полезности предполагает проведение интервьюирования.

*Таблица 5 — Итоги анкетирование экспертов методом Дельфы*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Критерий | Значение оценки конструкции | | | | | | | | | |
| Рассчитанное по среднеарифметическому | | | | | Рассчитанное по медиане | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 Простота конструкции | *5,33* | *4,125* | *6,3* | *6,17* | *6,17* | *6* | *5* | *7* | *6* | *5,5* |
| 2. Надежность | *6,375* | *5* | *6* | *5,5* | *6* | *5* | *4,5* | *5* | *5,5* | *6* |
| 3. Габариты в транспортном положении | *6,5* | *6,67* | *7* | *6,17* | *6,3* | *6* | *6,5* | *6,5* | *7* | *7* |
| 4. Массовые показатели | *5,83* | *6,17* | *6,7* | *6,7* | *7,13* | *6* | *6* | *6,5* | *6,5* | *8* |
| 5. Масштабируе-  мость конструкции | *4,83* | *5* | *6,5* | *6,837* | *4,8* | *5,5* | *5,5* | *7* | *6,5* | *4,5* |
| 6. Простота наземной отработки | *3,67* | *4,17* | *4,37* | *4,5* | *4,15* | *3,5* | *3,5* | *4* | *4* | *5,5* |
| 7. Экономичность | *6* | *5,17* | *5,4* | *6,5* | *5* | *6,5* | *5* | *5,5* | *7* | *5,5* |
| *L* | *5,5* | *5,2* | *6,04* | *6,05\** | *5,6* | *5,5* | *5,14* | *5,9* | *6,07\** | *6* |

Знаком \*– отмечен наилучший вариант.

В таблице 5 приведены значения, полученные в результате обработки результатов анкетирования методом Дельфы. Значения рассчитаны двумя методами – по медиане и среднему. Как видим они довольно близки друг к другу, но имеют некоторые различия.

Метод Дельфы является довольно простым, но в то же время не менее эффективным способом оценивания принятия того или иного решения. Одной из значительных трудностей при использовании данного подхода является выбор шкалы оценивания. В данном случае была выбрана 10-ая шкала с возрастанием приоритетов важности. При этом данный недостаток является в то же время и достоинством данного метода и позволяет решать задачи большого спектра.

Другим более серьезным недостатком является то, что в методе не учитывается тот факт, что критерии могут сами между собой являются неравнозначными по степени важности.

Этот недостаток по факту учтен в методе аналитических иерархий. Результаты опроса данной методике приведены в таб.6, 7 и 8.

*Таблица 6— Определение весов критериев по методу аналитической иерархии.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Критерии | Геометрическое среднее | Нормализованный вектор |
| Надежность | 2,51 | 0,272 |
| Простота конструкции | 1,20 | 0,130 |
| Габариты в транспортном положении | 1,61 | 0,175 |
| Массовые показатели | 1,22 | 0,131 |
| Масштабируемость конструкции | 0,41 | 0,044 |
| Возможность наземной отработки | 0,99 | 0,107 |
| Экономичность | 0,60 | 0,064 |
| Прокладка БКС\* | 0,70 | 0,076 |

Следует отметить, что в данной анкете был добавлен критерий «прокладка бортовой кабельной сети», характеризующий возможность и удобство прокладки.

*Таблица 7– Нахождения веса конструкций*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № Конструкции | Геометрическое среднее | Нормализованный вектор |
| 1 | 2,51 | 0,272 |
| 2 | 1,20 | 0,130 |
| 3 | 1,61 | 0,175 |
| 4 | 1,22 | 0,131 |
| 5 | 0,41 | 0,044 |

*Таблица 8— Итоговая таблица результатов анкетирования методом аналитической иерархии*

|  |  |
| --- | --- |
| № Конструкции | Качество решения |
| 1 | 0,185 |
| 2 | 0,120 |
| 3 | 0,082 |
| 4 | 0,231 |
| 5 | 0,381 |

Данный метод сравнения реальных альтернатив наиболее полезен, когда эксперты затрудняются дать точную оценку характеристики какой–либо альтернативы.Помимо этого, как уже отмечалось метод позволяет не только проранжировать варианты решений, но и учесть «реальную значимость» критериев.

Серьезным же недостатком данного метода является, то, что внедрение новой альтернативы или критерия, может значительно изменить уровень предпочтения. Помимо этого при увеличении числа критериев и альтернатив, увеличивается вероятность некорректного сравнения.

Метод, основанный на теории полезности, предполагает возможность строгой оценки последствий принятия той или иной альтернативы. Это позволяет построить более выверенную математическую модель, тем самым производить некоторую оптимизацию. Помимо этого в отличие от предыдущего метода, изменение количества возможных вариантов альтернатив поставленной задачи, сильно не влияет на общий ход решения.

С другой стороны, метод требует значительного времени на построения однокритериальных функций полезности. Кроме того, метод неявно оперирует с понятием вероятности (нахождение точек «безразличия»). И с учетом требования точных интервальных оценок изменения характеристик в рамках поставленной задачи накладывается ограничение на использование ряда критериев.

Таким образом, можно сделать вывод, что применительно к инженерным задачам, на более ранних этапах проектирования, для выделения группы доминирующих альтернатив целесообразней использовать метод аналитической иерархии. Далее, при более детальной проработке следует применять метод, основанный на теории полезности.

# Заключение

В данной работе были рассмотрены методы, позволяющие лицу принимающему решение принять наиболее оптимальное и обоснованное решение. В ходе работы был сделан вывод о необходимости применения на ранних этапах разработки проекта метода аналитической иерархии. Это позволяет выделить группу из 2 наиболее выгодных альтернатив для дальнейшей проработки. На этапах же проектной разработки, при появлении количественно выраженных характеристик, целесообразным является метод построения функции полезности.

При проведении анкетирования и интервьюирования в рамках данной работы, была выделена группа из *2- х* конструкций №4 и №5. Для принятия окончательного решения, как упоминалось выше, необходимо получение количественных интервальных оценок.

# Список литературы

1. Прохоров Ю.К., Фролов В. В. Управленческие решения. – 2-е изд., испр. и доп.[ Учебное пособие] //СПб: СПбГУ ИТМО, 2011– 138с.
2. 0. И. Ларичев «Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах» [ Текст] //М: Логос,2000–296с.
3. Р.Л. Кини, Х.Райфа «Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения» [ Текст] // М:Радио и связь,1981–560с
4. Саати Т., Керне К. Аналитическое планирование. Организация систем. [ Текст] // М:Радио и связь,1991–224.с
5. В.М. Постников, В.М.Черненький Методы принятия решений в системах организационного управления [ Текст] // М:МГТУ им. Баумана, 2014–205с.
6. Патент РФ 2225809
7. Патент РФ 2225809
8. Патент РФ 2474893
9. Патент РФ 2535356

1. В качестве ЛПР в данном случае может выступать как специалист(ы), так и непосредственно ЛПР. [↑](#footnote-ref-1)