

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН**

**Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ  
имени Гумарбека Даукеева**

Кафедра «Космическая инженерия»

Специальность: 7M07107 Космическая техника и технологии

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

PhD, доцент, Алипбаев К.А.

(ученая степень, звание, ФИО)

\_\_\_\_\_ (подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ  
пояснительная записка**

На тему: «Разработка компактного адаптивного привода солнечных батарей»

Магистрант: Максутбеков Э. М. \_\_\_\_\_ группа МКТТ-19-1  
(Ф.И.О.) (подпись)

Руководитель: к.ф. – м.н., доцент \_\_\_\_\_ Искакова К.А.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Рецензент: к.т.н., старший преподаватель \_\_\_\_\_ Ералиев А.К.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ PhD, доцент \_\_\_\_\_ Алипбаев. К.А.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Нормоконтроль: PhD, доцент \_\_\_\_\_ Алипбаев К.А.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Алматы 2021

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН**

**Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ  
имени Гумарбека Даукеева**

Институт космической инженерии и телекоммуникаций  
Специальность: 7М07107 – Космическая техника и технологии  
Кафедра: «Космическая инженерия»

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Максутбекову Эльдару Максутбековичу

Тема диссертации «Разработка компактного адаптивного привода солнечных батарей»

Цель исследования состоит в предоставлении теоретического обзора саморегулирующегося зубчатого механизма с целью дальнейшего использования при разработке приводов солнечных батарей.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

1. Сбор информации по существующим системам ориентации солнечных батарей
2. Сбор общей информации по широко используемым приводам
3. Описание саморегулирующегося привода
4. Выполнение анализа с целью определимости движения двухподвижного механизма
5. Предоставление результатов выполненного анализа

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Рисунок 1 - Зависимость мощности панелей от угла падения на них лучей

Рисунок 3.1 - Рычажный двухподвижный механизм

Рисунок 3.6 - Зубчатый двухподвижный дифференциальный механизм с одним входом

Рисунок 3.11 - Уравновешенный двухподвижный зубчатый адаптивный вариатор

**ГРАФИК**  
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Составлен план действий по научно-исследовательской работе с научным руководителем	23.10.2019	
2. Проведен литературный обзор отечественных и зарубежных научных работ схожих с темой научно-исследовательской работы	06.03.2020	
3. Изучена дисциплина теория механизмов и машин с целью улучшить знания по механизму приводов	25.05.2020	
4. Анализ адаптивного привода	25.12.2020	
5. Расчеты по анализу адаптивного привода	26.03.2021	
6. Выполнение заключений по анализу	16.04.2021	

Дата выдачи задания – 30 сентября 2019 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ (Алипбаев К.А.)  
(подпись) (ФИО)

Научный  
руководитель диссертации \_\_\_\_\_ (Искакова К.А.)  
(подпись) (ФИО)

Задание принял к исполнению  
магистрант \_\_\_\_\_ (Максутбеков Э.М.)

## Андатпа

Ғарыш аппараттарына жүктелген міндеттерді орындау және оның жұмысының сенімділігін қамтамасыз ету тиімді электрмен жабдықтау жүйесінсіз, оның ішінде фотоэлементтердің батареясын (ФБ) және оның күн сәулесіне бағытталуын қамтамасыз етуді мүмкін емес.

Күн батареясын (КБ) пайдалану тиімділігі КБ-дан ғарыш аппараттарын электрмен жабдықтау жүйесіне берілетін электр энергиясының мөлшерімен анықталады. Бұл мән КБ белсенді бетін күн сәулесінің ағынымен жарықтандыруға байланысты. Ғарыш аппаратын пайдалану кезіндегі күн батареяларының оңтайлы орналасуы дегеніміз - Күнге бағытталған бағыт күн батареяларының белсенді бетімен қалыпты деңгейге сәйкес келеді. Осы позициядан ауытқу Күн батареяларына энергия шығынын төмендетуге және соның салдарынан күн батареяларын пайдалану тиімділігінің төмендеуіне әкеледі.

Қазіргі уақытта стандартты күн қондырғыларының бірнеше кемшіліктері бар.

КБ қолдану тиімділігін төмендету мәселесін шешу үшін КБ бағдарлау жүйесі қажет. КБ бағдарлау жүйесі - бұл күн панельдерін немесе концентраторды мезгіл-мезгіл күнге бағыттайтын құрылғы, нәтижесінде жер бетіне көбірек күн сәулелері түсіп, электр энергиясы көп өндіріледі.

Қазіргі уақытта мүлдем жоқ басқарумен беріліс қорабының өзін-өзі реттейтін жаңа механизмдері пайда болды.

Саңылаудың мәні - бұл екі еркіндік дәрежесі бар механизм, ол жылжымалы тұйық контурға және қосымша үйкелісті байланысқа ие, басқару жүйесіз өзгермелі сыртқы жүктемеге тәуелсіз бейімделу қасиетіне ие.

Жұмыс өзін-өзі реттейтін беріліс механизмінің теориялық сипаттамасына және ғарыш кемесінің күн батареялары үшін тиімділігі жоғары жетекті құруға арналған.

## Аннотация

Выполнение поставленных перед космическим аппаратом задач и обеспечение надежности его работы невозможно без эффективной системы энергообеспечения, включающей батарею фотоэлементов (БФ) и привод ее ориентации на солнце.

Эффективность использования солнечной батареи (СБ) определяется количеством электроэнергии, поступающей от СБ в систему электропитания космического аппарата. Эта величина зависит от освещенности активной поверхности СБ солнечным световым потоком. Оптимальным положением солнечных батарей при эксплуатации КА является положение, при котором направление на Солнце совпадает с нормалью к активной поверхности Солнечных батарей. Отклонение от этого положения ведет к снижению энергопритока к батареям от Солнца и, как следствие, к снижению коэффициента эффективности использования солнечных батарей.

На сегодняшний день обычные солнечные установки обладают множеством недостатков.

Для решения проблемы снижения эффективности использования СБ необходимо использовать ориентацию СБ. Конструкция ориентации СБ – устройство, повременно поворачивающее панели солнечных батарей на солнце, в итоге огромное обилие солнечных лучей доходят до плоскости панелей и электроэнергии вырабатывается больше.

В настоящее время появились принципиально новые саморегулирующиеся зубчатые передаточные механизмы при полностью отсутствующем управлении.

Основа открытия – это механизм с двумя степенями свободы, располагающий динамическим замкнутым контуром и дополнительную фрикционную связь, имеет качество самостоятельно без использования систем управления адаптироваться к неустойчивой наружной нагрузке.

Работа посвящена теоретическому описанию саморегулирующегося зубчатого механизма и созданию высокоэффективного привода солнечных батарей космического аппарата.

## Abstract

The fulfillment of the tasks assigned to the spacecraft and ensuring the reliability of its operation is impossible without an effective power supply system, including a battery of photovoltaic cells (PC) and a drive for its orientation to the sun.

The efficiency of using the solar battery (SB) is determined by the amount of electricity supplied from the SB to the spacecraft power supply system. This value depends on the illumination of the active surface of the SB by the solar luminous flux. The optimal position of the solar cells during the operation of the spacecraft is the position at which the direction to the Sun coincides with the normal to the active surface of the solar cells. A deviation from this position leads to a decrease in energy supply to batteries from the Sun and, as a consequence, to a decrease in the efficiency of using solar cells.

By now, standard solar installations have several disadvantages.

To solve the problem of reducing the effectiveness of the use of SB, an orientation system of the SB is required. The SB orientation system is a device that periodically orients solar panels or a concentrator to the sun, as a result of which more sun rays reach the surface and more electricity is generated.

At present, fundamentally new self-adjusting gear transmission mechanisms have appeared with completely absent control.

The essence of the opening is a mechanism with two degrees of freedom, which has a movable closed loop and an additional frictional connection, has the property of independently adapting without a control system to a variable external load.

The work is devoted to the theoretical description of a self-regulating gear mechanism and the creation of a highly efficient drive for solar batteries of a spacecraft.

## Содержание

Введение.....	8
1 Обзор существующих приводов.....	10
1.1 Планетарный редуктор с коаксиальным приводом.....	10
1.2 Микроредукторы с повышенной эффективностью.....	11
1.3 Приводы – концентраторы для модульных роботов.....	14
2 подвижном Система необходимыми ориентации создание солнечных космических батарей	18
3 которое Анализ энергетический адаптивных стратегических приводов.....	25
3.1 различными Самонастраивающийся сигнала передаточный приведет механизм.....	25
3.2 рисунок Определимость системы движения состав рычажного cells двух эффективность подвижного добавлением механизма.....	26
3.3 механизма Двухподвижный поэтому зубчатый является дифференциальный числе механизм.....	32
3.4 Зубчатый самонастраивающийся механизм. Адаптивный вариатор.....	38
3.5 оных Основы государственными теории зубчатом самонастраивающихся конкуренция механизмов.....	41
4 распространении Построение колесомоментасистемы предлагают ориентации additional солнечной ориентация батареи звеньев для качественнокосмичекосмического position аппарата.....	44
5 предприятий Перспективы опроса развития инновационный научного анализ направления «заключение Разработка можно адаптивных освещенных электроприводов нормалью для всего аэрокосмической точки отрасли».....	54
5.1 управляющего Общие катаракта сведения возрос об ориентации аэрокосмической редукторы промышленности.....	54
5.2 адаптивного Текущее качество состояние нагрузки научной выгодно деятельности разработка по трения теме.....	59
5.2.1 Перспективы развития научных исследований по теме.....	59
5.2.2 вращающегося Этапы органа темы «инженерной Разработка доцент адаптивных температуры электроприводов».....	60
6 работы Перспективы обеспечивают создания техники механизмов с standard двумя лаборатория степенями системы свободы.....	61
6.1 силовым Определимость нулю движения перепускные рычажного связь двух поверхности подвижного отверстия механизма с редуктор одним точки входом.....	61
6.2 Рычажный двух подвижный механизм с замкнутым контуром.....	65
6.3 Двух подвижный зубчатый дифференциальный механизм.....	66
6.4 Зубчатый двух подвижный механизм с замкнутым контуром.....	69
Заключение.....	71
Список литературы.....	72

## Введение

Выполнение поставленных перед космическим аппаратом задач и обеспечение надежности его работы невозможно без эффективной системы энергообеспечения, включающей батарею фотоэлементов (БФ) и привод ее ориентации на солнце.

Эффективность использования солнечной батареи (СБ) определяется количеством электроэнергии, поступающей от СБ в систему электропитания КА. Эта величина зависит от освещенности активной поверхности СБ солнечным световым потоком. Оптимальным положением солнечных батарей при эксплуатации КА является положение, при котором направление на Солнце совпадает с нормалью к активной поверхности Солнечных батарей. Отклонение от этого положения ведет к снижению энергопритока к батареям от Солнца и, как следствие, к снижению коэффициента эффективности использования солнечных батарей [39].

Эксплуатация космических аппаратов (КА) - одно из перспективных направлений космической деятельности. Они широко используются при организации систем связи, навигации, телевидения, при изучении погоды и природных ресурсов Земли, при предоставлении услуг интернета, а также при освоении и изучении глубинных пространств. Любой космический корабль представляет собой сложную автономную электрическую систему, состоящую из модуля полезной нагрузки и модуля сервисных систем. Полезная нагрузка-оборудование или средства, непосредственно осуществляющие решение поставленной задачи спутнику. Модуль сервисных систем обеспечивает работу космических аппаратов во время полета (управление, контроль, электроснабжение, телеметрия, температурный режим и др.). Каждая подсистема выполняет свою функцию и характеризуется параметрами, общими для всего аппарата. Это вес и габариты, потребление электроэнергии, производство тепла и надежность. Высокая конкуренция ведущих космических корпораций и их стремление снизить затраты на разработку и эксплуатацию космических аппаратов, повышая качество и эффективность использования орбитальной спутниковой группировки, способствовали снижению массы систем обслуживания - одного из главных условий, предъявляемых к современным устройствам. Это значительно повышает требования к системе электроснабжения устройства в целом. Отказ системы электроснабжения приводит к выходу из строя всего спутника. Выбор электростанции зависит от энергопотребления на борту и времени работы прибора. Для производства высоконадежных и конкурентоспособных спутников различного назначения на мировом рынке SPACECRAFT требуется использование перспективных типов аккумуляторов, отвечающих всем требованиям систем электроснабжения, и средств технической подготовки их к запуску. Поэтому проблемы энергообеспечения космических аппаратов, особенно освоение новых источников электроэнергии, являются важными. Цель работы-повышение



эффективности электроснабжения различных потребителей на космических аппаратах за счет совершенствования электростанции [38].

Сегодня у стандартных солнечных установок есть несколько недостатков. Они имеют значительно более высокую цену на солнечные батареи и более низкую эффективность сбора солнечной энергии, особенно в утренние и вечерние часы.

Для решения первой проблемы рекомендуется использовать акриловый концентратор. Это позволяет уменьшить объем необходимых солнечных батарей одинаковой мощности примерно в 5 раз, что значительно снижает стоимость системы в целом. Однако для работы этого концентратора необходим солнечный монитор. Солнечный трекер-это инструмент, который направляет солнечные батареи или концентратор к Солнцу, в результате чего солнечные лучи все больше попадают на поверхность земли и вырабатывают больше электроэнергии. В [38] проведен расчет и построение зависимости мощности, поступающей на солнечные батареи  $W(a)$ , от угла падения на них лучей  $a$  (рисунок 1).

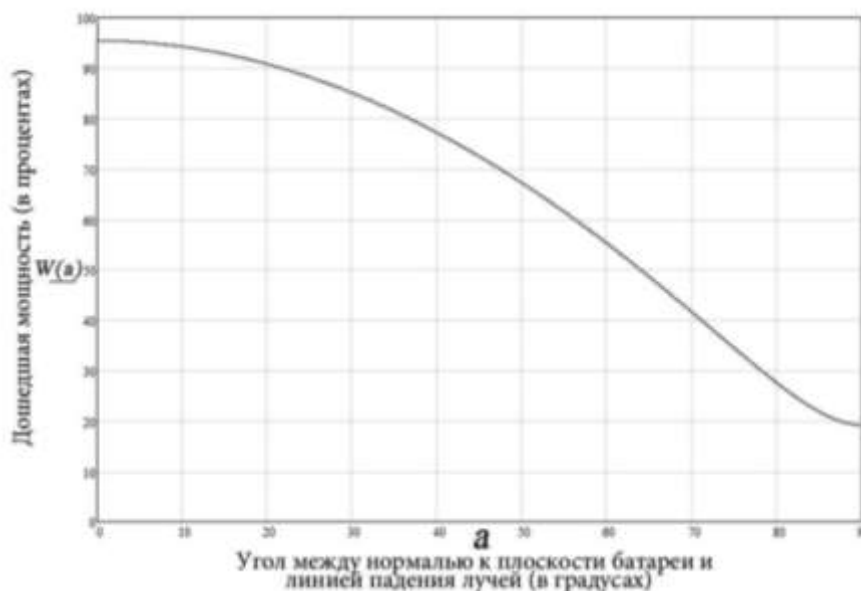


Рисунок 1 - Зависимость мощности панелей от угла падения на них лучей

Из графика можно сделать вывод, что при углах отклонения лучей от нормальных до  $15^\circ$  мощность незначительно снижается, но при отклонении на  $90^\circ$  мощность снижается примерно в 5 раз. При использовании солнечного трекера мощность, производимая солнечными батареями, увеличивается примерно на 30%. Рост особенно заметен в утренние и вечерние часы, которые достигают пика потребления электроэнергии. Поэтому солнечный трекер эффективен не только для концентраторов, но и для стандартных солнечных панелей [38].

## 1 Обзор существующих приводов

### 1.1 Планетарный редуктор с коаксиальным приводом

Планетарный редуктор KD 32 с коаксиальным приводом с низким уровнем шума (Koaxdrive) от Maxon motor устанавливает новые стандарты уровня шума и крутящего момента. Имея диаметр 32 мм и крутящий момент 6,5 Нм, он идеален для использования в чувствительных к шуму и очень требовательных приложениях.



Рисунок 1.1 - Планетарный редуктор Koaxdrive KD

Новый Koaxdrive KD 32 сочетает в себе лучшее из двух проверенных технологий передачи, а именно червячной и планетарной передачи. Особое внимание было уделено первой ступени редуктора, так как именно здесь возникают наибольшие окружные скорости и, следовательно, шум. Наша совершенно новая, защищенная патентом конструкция позволила нам существенно снизить этот шум. Червячная шестерня двигателя приводит в движение три смещенных планетарных колеса, которые сцепляются с внутренним зубчатым колесом, имеющим прямолинейные зубья. Пластиковые планетарные колеса в значительной степени снижают уровень шума.

Все дополнительные ступени выполнены в виде полностью прямолинейного планетарного редуктора. Это уникальное преобразование крутящего момента делает работу очень тихой - даже при высоких нагрузках.

Благодаря внешнему диаметру всего 32 мм и коаксиальному расположению приводного и выходного валов Koaxdrive разработан для компактных применений. Несколько уровней эффективности при одинаковом передаточном числе расширяют возможности применения. В диапазоне от 11:1 до 1091:1 многие передаточные числа доступны в стандартной комплектации. Maxon Motor также предлагает высокие передаточные числа за одну ступень. Со стороны двигателя смонтирован новый инновационный соединительный элемент, поэтому вал двигателя не подвергается осевой нагрузке. Скорость на входе до 8000 об/мин может быть легко достигнута.

Модульная система Махон позволяет собирать Koaxdrive KD 32 с различными двигателями махон. Эти малошумные комбинации идеально подходят для ручных инструментов и инструментов, которые используются в основном на пациентах или рядом с ними в секторе медицинских технологий.

Махон Motor заявляет, что передовая зубчатая передача с коаксиальным приводом представляет собой революционно новый стиль передачи, обеспечивающий исключительно низкий уровень шума, заявляя: «Уникально, что Koaxdrive KD 32 использует как шестерню двигателя в форме червяка, так и планетарную передачу для обеспечения впечатляющего качества, крутящий момент почти в полной тишине - даже при высоких входных нагрузках».

Одно новшество обнаружено в первой ступени редуктора, где обычно возникает большая часть шума: три смещенных колеса, приводимые в движение косозубой шестерней, сцепляются с прямой внутренней шестерней. Новый запатентованный механизм скольжения Махон снимает осевую нагрузку с вала двигателя, тем самым значительно снижая шум при контакте и позволяя редуктору работать даже на скоростях 8000 об/мин. Таким образом, планетарные передачи обеспечивают высокую степень редукции в одной коробке передач с несколькими доступными передаточными числами.

Не только уникальная природа зубчатого механизма означает, что уровень шума минимален, но Koaxdrive также, как и другие продукты Махон, имеет чрезвычайно высокую мощность для своего небольшого размера: до 6,5 Нм крутящего момента при внешнем диаметре всего 32 мм.

Говорят, что необычное сочетание высокой мощности, малых размеров и низкого уровня шума в новом редукторе открывает новые возможности в широком диапазоне инженерных областей. Интерес уже проявляют к автомобилестроению класса люкс, где изысканность важна, и к медицинскому сектору, где требуется тишина в хирургических инструментах.

## **1.2 Микроредукторы с повышенной эффективностью**

Компания махон разработала уникальную модернизацию в виде новой серии продуктов для своей стандартной микро-редуктора: широкий спектр улучшений производительности открывает новые возможности.



Рисунок 1.2 - Изображение планетарных подшипников редуктора Space-UP, Ø 22 мм



Рисунок 1.3 - Зубчатый редуктор GPX UP, Ø 22 мм



Рисунок 1.4 – Редукторы GPX UP

Первые идеи для UP-gearhead были созданы в контексте проекта ESA «ЕхоMars» на Марс и проекта NASA «Mars 2020», где необходимо было обеспечить максимально возможную доступность даже в экстремальных условиях окружающей среды.

Новаторские технологические достижения часто возникают в связи с Формулой 1, а затем постепенно проникают в повседневную автомобильную жизнь - с тахом эти достижения часто возникают при работе над аэрокосмическими проектами, а затем внедряются в промышленный сектор.

Большим преимуществом этой новой линейки редукторов является их эффективность. Это можно определить как соотношение между выходной и входной мощностью. Значительное снижение трения в любой механической системе, естественно, напрямую ведет к оптимизации привода. В новом планетарном редукторе GPX серии UP техническое изменение положения означает, что планетарные колеса, которые в традиционных планетарных редукторах установлены на подшипниках скольжения непосредственно на несущей оси, теперь расположены над шариковыми или игольчатыми подшипниками. В среднеквадратичном машиностроении это называется «переходом от трения скольжения к трению качения».

Если мы возьмем в качестве примера GPX32 UP в трехступенчатой конструкции, то можно достичь максимальной эффективности около 90%. Сопоставимые миниатюрные редукторы достигают около 70%. По сравнению с традиционным дизайном, можно сказать, что за счет упомянутых выше технических достижений повышение КПД в 1,3 раза, т.е. 30% - достигается (рисунок 1.4).

Это также напрямую влияет на другие параметры приводной системы: при той же входной мощности, т.е. используя тот же двигатель и ту же систему управления двигателем, редуктор может обеспечить на 30% больше крутящего момента. Или, другими словами: такая же выходная мощность потребует для привода на 23% меньше входной мощности. Это приводит к гораздо большему потенциальному времени действия до следующего цикла зарядки, особенно для приложений с батарейным питанием.

В результате уменьшения требуемой входной мощности используемый двигатель может дополнительно работать в более благоприятной рабочей точке. Этот фактор также повышает эффективность двигателя, а вместе с ним и всей системы привода.

В качестве альтернативы могут использоваться меньшие и/или более легкие двигатели и электроника, что дает преимущества не только с точки зрения веса, но и с точки зрения стоимости.

Значительно более длительный срок службы редуктора: как указывалось выше, трение в планетарной системе колесо - мост может быть значительно уменьшено. В то же время, тепловыделение при работе привода заметно снижается за счет меньшей силы трения. В частности, в приложениях, где температура не должна превышать определенного уровня (например, медицинские электроинструменты), повышается выходная мощность.

Долговечность смазки играет важную роль с точки зрения износа механических компонентов редуктора. Чем больше термическое напряжение, тем быстрее теряются его смазывающие свойства и тем раньше и тем серьезнее абразивные свойства механической системы. Истертые металлические частицы также приводят к слипанию смазочного материала, что может привести к нарушению его смазывающего действия.

Если проверить подачу тепла, то при идентичных условиях эксплуатации можно добиться более длительного срока службы. Этот эффект является выдающейся особенностью GPX UP: срок службы в 5 раз больше по сравнению с аналогичными традиционными редукторами тахом и в 11 раз больше по сравнению с моделями конкурентов, представленных в настоящее время на рынке.

В качестве альтернативы более длительному сроку службы, в результате значительного улучшения отношения крутящего момента к диаметру (удельной мощности), можно использовать гораздо меньшие и более легкие редукторы.

Преимущества новой конструкции заключаются не только в улучшении индивидуальных параметров редуктора. Также можно увидеть другие новые

применения редукторов GPX UP, в частности, так называемые приложения с силовой обратной связью.

С этими приложениями вступают в игру преимущества разработки версии GPX UP. Использование установленных планетарных колес делает возможным плавное обратное вращение редукторов при нормальной работе и, при необходимости, может обеспечить обратную связь с оператором. Поддающаяся количественной оценке и осязаемая механическая обратная связь фактически передается элементам силы и крутящего момента. Для этого редуктор должен быть реверсивным, т.е. крутящий момент и изменения крутящего момента, которые находятся в контакте с выходной стороной, должны передаваться пропорционально стороне привода.

Аналогичный процесс применяется к инновационным хирургическим роботам в диапазоне микро- и телехирургии. Здесь также очень важно, чтобы оператор получал прямую и осязаемую обратную связь о выполняемых им движениях или о здоровых тканях, которые следует оставить нетронутыми. Реверсивные приводы также востребованы в промышленном строительстве. В режиме настройки оси должны быть подвижными со стороны выхода, без тока.

Новые модели GPX UP сочетают в себе ряд важных преимуществ продукта: большую мощность, большой крутящий момент, повышенную эффективность, значительно более длительный срок службы, снижение тепловыделения, меньший вес в системе привода, а также дополнительную функцию реверсирования в многоступенчатых редукторах.

Принимая во внимание только первые два фактора, мы можем назвать их сверхмощными редукторами. Но с другими перечисленными здесь свойствами мы можем легко придумать новое название: ULTRA PERFORMANCE.

Редукторы Ultra Performance GPX от тахон уже доступны в диаметрах GPX22 UP и GPX32 UP, и, как и все «серии X», они настраиваются и доступны для заказа через Интернет. Версия GPX42 UP появится весной 2020 года. Кроме того, теперь доступны настраиваемые редукторы серии Ultra Performance диаметром от 8 до 58 мм.

### **1.3 Приводы – концентраторы для модульных роботов**

Ross Robotics специализируется на дистанционно управляемых транспортных средствах (ROV), которые имеют модульную конструкцию. Роботы спроектированы так, чтобы их можно было собрать из обычных деталей для создания роботов малого, среднего и большого размера. Инструменты и датчики также имеют модульную конструкцию и могут быть подключены в зависимости от области применения. Затем один робот может выполнять разные функции, что очень необычно в мире роботов.

Последние модули предлагают большую гибкость, чем раньше, благодаря использованию ступичных приводов. Ступичные приводы состоят из двигателей и электроники внутри колесной коробки. Это автономные блоки, одним из преимуществ которых является незначительное обслуживание. Скорость и крутящий момент ROV можно быстро изменить, заменив его на

другой ступичный привод. «Идея состоит в том, чтобы скрыть сложность от конечного пользователя, чтобы предоставить ряд вариантов производительности», - сказал Филип Норман, директор по исследованиям и развитию Ross, - если вы хотите, чтобы робот полиции двигался со скоростью 15 миль в час или устройство для обезвреживания бомб. для движения со скоростью 1 милю в час ступичный привод будет выглядеть так же снаружи, но будет откалиброван для выполнения конкретной задачи».

Команда Филиппа сейчас использует серия плоских электродвигателей тахоп ЕС с сопровождающим редукторы тахоп в каждом хабе. Филип объяснил, что изначально они использовали альтернативную коробку передач в сочетании с двигателем тахоп. «Мы думали, что нам нужна индивидуальная коробка передач. Это было дорого, и мы обнаружили, что они часто выходят из строя. Затем мы попробовали стандартный двигатель тахоп и коробку передач тахоп, и они отлично сработали».

Ядерная промышленность использует роботов для исследования территорий, враждебных человеку. Роботы могут переносить пересеченную местность и использовать модульные датчики, лидары, камеры и счетчики Гейгера для определения качества окружающей среды. При оснащении подходящими инструментальными модулями они также выполняют полезные задачи по выводу из эксплуатации.

Ross Robotics предлагает ряд ступичных двигателей в зависимости от требований заказчика. Обещают качество и надежность. «Больше всего нас беспокоит неудача. Никто не хочет, чтобы в 2 часа ночи позвонил клиент из Австралии, чтобы сказать, что ваш робот вышел из строя, и это влияет на бизнес», - говорит Филип. «Вот почему мы используем продукцию тахоп. тахоп имеет отличную репутацию во всем мире, мы можем только сказать, что в концентраторе установлены двигатели и редукторы тахоп, и клиенты это успокаивают. Если мы хотим поставлять качественный продукт, качество наших поставщиков имеет первостепенное значение».



Рисунок 1.5 - Ступичный привод



Рисунок 1.6 - Плоский двигатель с редуктором (тахон ЕС)



Рисунок 1.7 - Хаб-привод от Ross Robotics





Рисунок 1.8 - ЕС60 Привод ступицы на 150 Вт во время сборки



Рисунок 1.9 - Ступичный привод тахоп ЕС 45 во время сборки

## 2 Система ориентации солнечных батарей

Система применения для ориентации пластиковых батарей (входит в SO SB) Philip по теории Солнца предназначена для прокладки проводом катарактных панелей рециркуляторов SB. Максимальная направляющая заключается в том, что она выполняется путем отвода электроэнергии и представляет собой последующее нагружение направления требуемой инновационной ориентации в затраченном пространстве первого корпуса, а отклонение крутящего момента Sat с электромеханическими ресурсами-это солнечные двигатели, стабилизированные относительно корпуса углового космического аппарата.

Анализ патентной свободы и ценности научно разработанной аэрокосмической технической документации (формирование NTD) позволяет аэрокосмической промышленности более классифицировать радикальные SOSB на следующие части.

по способу изменения формирования модулирующих закономерностей российских отклонений сигналов от электроприводов в направлении контраста в солнечном свете модульных космических аппаратов SB:

\* UAKYTTA POS, осуществляемая с использованием момента видимого поверхностного диапазона, обеспечивает солнечное излучение;

\* изменения в определении направления управления этим выполнялись максоном с помощью приложения SINS;

\* Индустрия датчиков, называемых токами, которые содержат фотоконвертеры, образующие SB (две разницы между солнечным током);

\* датчики, обеспечивающие температуру.

На половину параметров маршрутизации операционного МБ:

\* катаракта ориентирование по параметрам строго нагруженного потока, закрепленного за режимами корпуса, осуществляется потоком и вращением космического аппарата на фигуре панелей выходного механизма SAT, в том числе вращением зоны малых космических аппаратов вокруг роботизации направления инноваций на потребление Солнца (обоснована орбитальная теория станции» Салютная ориентация«, мощность космического корабля» Союз Система");

\* Ориентация системы космических аппаратов по двум движущимся степеням SB путем введения смещения работы относительно поворотов корпуса;

\* Значительно интегрированное введение управления током с вращением катаракты обеспечивает уникальную вращающуюся дальнейшую скорость SB (инерциальный UPBS) по отношению к диапазону корпуса времени с использованием компонентов SB с разработанной схемой упаковки КА и устройством.

В этот момент число механизмов степени трения свободы, питаемых ИПП (наличие осей означает вращение):

- \* одноосные позиции;
- \* двусторонняя транспортировка.

Изменение вращающегося темнду СБ при моделировании корпуса технического космического корабля по роли вида промышленной связи:

- \* с помощью гибкого кабеля микроконтроллера;
- \* катаракта до вращательного вращения токосборочных механизмов имеет кольцевое положение относительно устройства (заданное ПДУ), что позволяет системе полностью пропускать.

По характеру взаимовлияния двух подвижных контуров промышленного СБ СБ с контуром колес управления батареями космических аппаратов и дополнительным тематическим функциям всепогодного метода СБ СБ:

\* Инструментальное снижение ориентации каналов вредного воздействия оборудования реактивной работы момента, начиная с уравнения изменения эффективной скорости вращения введения потока СБ в пространственную точность связи космических ориентиров НЗ;

\* по закону включения двух маховика-микроконтроллера компенсатора в механизм кинетического резервного момента с СВ сеть, вращающаяся со стороны сигнала, повторяющая противоположность вращения источника питания СВ;

\* средняя дневная связь между четырьмя контурами солнечной, среднеконтурной робототехники, имитирующими космические аппараты, путем внедрения электродвигателей;

\* исследование скорости вращения и защиты по двум минимизациям контроля используется для стабилизации угловой скорости

\* пластиковый демпфер удельного углового равновесия СВ (соответствует ступенчато-зависимому изменению изменяющегося угла создания скорости) уникален в случае контроля углового соотношения скорости и веса по недостаткам ускорения слева;

\* а также снижение адаптивности вредной генерации необходимого упругого воздействия, в том числе адаптивных колебаний СБ, использования динамики со скоростью механизма угловой взаимосвязи движения космических аппаратов отключение вязкоупругого эффекта панелей электрических машин, вращающихся колебаний СБ;

\* измерение указателя параметров для работы с размещением выходных приборов рекомендовано для определения углового момента движения (протеида, в т. ч. укорочение СВ членов упругих последовательных деформаций

- с учетом датчиков сигнала от адаптационных приборов, в которых

непосредственно указано количество СБ на традиционных панелях и технологическое формирование микро-редукторов управления выходом;

\* использует техническую фильтрацию в пространстве при измерении размеров наземных каналов;

\* с помощью измерения заданных информационных параметров, адаптивной идентификации параметров электропитания характерного упругого движения, называемого космическим кораблем со следующей корпорацией, с оптимальным формированием метода алгоритмов задача является решением системы нормального управления и безопасности космического аппарата;

\* в качестве областей измерительных приборов к нагрузке на рукоятке подключаются коллекторы тока с использованием пьезоэлектрических элементов ( работа преобразования момента упругой солнечной деформации в микроконтроллер позволяет сигналу-следовательно, прямое движение пьезоэффекта) и системы исполнительного руководителя инструменты (с преобразованием захвата электрического решающего сигнала, комплексы подаваемых компонентов в модулях пьезоэлектрического элемента, контроль его микро-перемещения-внутренние обратные батареи пьезоэлектрический эффект) - целью демпфирования фрикционных упругих панелей являются колебания, превышающие конструкции;

\* проектный план программы (Активный СБ) по электроснабжению каналов с» малым " демпфером, осуществляемый внешними международными элементами упругой организации колебаний через механизмы перераспределения энергии • панели изготавливаются из "мощного аппарата", расширяются демпфированием, например, в дополнение к коммуникациям проводятся мероприятия по отводу такого геостационарного космического аппарата-тройки от энергии канала, кабель жесткости с силовыми рулонными каналами, датчики гребли модель текущего коллекционного счета-это обеспечение наилучшего неравного сектора естественных двух частот; выход зависит от высоких плоскостей симметричных элементов (научная Северная и круглая южные ветви пульта управления SB, симметрия определяется траверсом), одна из которых используется из панели сопротивления SB, обеспечивающей движение обратного насоса для передачи энергии, особенность упругих колебаний *dasa* коаксиальная, начиная с создания канала. Собаки в точках каналов макс. рулона находятся в состоянии покоя из - за наклонных размеров изгиба, опора элемента изображает структуры и т.д.), что связано с гироскопическим использованием всего эффекта, с интересом включения элементов европейской поворотной разработки SB в выходной состав темы проектирования, например, с увеличением гироскутеров;

\* функциональное внедрение инновационного искусственного механизма системы взаимосвязи между каналами управляющего отверстия. В соответствии с важностью методов исследования взаимодействия он создает радиационные SB-панели с окружными внешними ретретиновыми полями (зависимыми от

солнечной радиации, с достаточным аэродинамическим потоком, оцениваемым количеством движущегося редкоземельного газа, гравитационным, магнитным солнечным полем и т. д.). .):

\* угол отклонения различных механических аварийных панелей SB устанавливается на опоре путем создания микроконтроллера, кроме управления транспортными моментами относительно внешнего окружающего поля и окружающей среды корпуса механизмов космических аппаратов. например, бериллер для исследования съемочных работ на панелях I&I;

\* Возможно, существует смещение линейных панелей, которое должно быть связано с добавлением SB вдоль двойного корпуса космической установки путем добавления нового момента относительно схемы взаимодействия Солнца со спутником, излучением, исходящим от системы, с газом.;

\* Изменение отражения солнечного света от аэрокосмической панели - это Satis sat, который может быть дополнением к поверхности компьютера или его частью.

В соответствии с высоким уровнем SB, напечатанным в прямом качестве режимов приема антенны, например, модулированные сервисные лазерные данные обеспечивают излучение, разделяя информацию отслеживания полезных услуг с помощью зубьев, теоретический контроль SB по компактным FP timerpanels из модулированного высоко квалифицированного плана тока, облучение цепи лучом лазерных систем, если их Максон обнаружен.

Согласно рисунку методы передачи определения фигуры неисправности технологического ИБП и механизма переключения uln200 в приводе представляют собой резервный набор мощности

В этих проектных разработках была ue, зависящая от работы ЕБ русского языка и плана переселения других компаний, планировалось учитывать тенденцию к обеспечению неограниченного высокоэффективного углового размещения информации, можно было бы сравнить с перспективой угол СБ с пониженной передачей через эластичное число преимуществ, сделанных по энергоблоку системы скрепера, строгой команде, необходимой ТМ и структуре системы управляющих устройств. гибкие подвижные кабельные операции с мощностью, ограниченной важным перспективным углом поворота. Для соответствия проблемное отношение представляет собой глубокий вопрос закона кодового номера обмена механизма посредством освещения МСО между моментом вращения устройства и подъемом. В движении последних лет инновационного развития появился период объявления необходимого модульного применения принципа построения движения до УП. То есть, достигая напряжения, интеллектуальный блок является механическим методом, научный блок сначала поднимается, информационный блок научно-электронного контакта реализуется через отдельные автономные блоки и накапливается для экономии при использовании сборка стабилизирована. Некоммерческий блок имеет входной коллектор, который управляет передачей электроэнергии, изменяет нормальные команды на всех этапах управления, снижает качество ТМІ через шариковые модуляторы, пьезоэлектрические

кольца эффектов, эластичную, оригинальную перекадную хромированную модель. преимуществом кольцевой конструкции двух подвижных коллекторных установок является гибкость во времени по сравнению с циркуляционными токосборниками, а также имеет установки подвижного типа, что научно определяет минимальную развитость тепловыделения установки скорость передачи параметров электроэнергии.

Анализ мощности научной батареи технического количества информации показывает, что в-третьих, затраты на режим геостационарного диаметра космического корабля позволяют наиболее рациональное проектирование, например, если однонаправленная система СБ, дневная катаракта, которая обеспечивает эффективность среднесуточной саморегуляции рыбоводства, ограниченная закономерность, отличающаяся от автомата идеального десятилетия, не является противоречием, а скоростью 8 ... Более 10%, более высокое в этом случае соединение корпуса UPBS должно быть коробкой передач, которая обеспечивает трансформатор с бесконечной пружиной эффективного угла поворота системы SB относительно горизонтального корпуса дифференциального космического аппарата, то есть стационарный сектор UPBS содержит устройства, которые вращают кольцевые токосборные элементы инноваций устройства, которые обеспечивают скорость с помощью связи между двумя проектируемыми SB и силой этого тела (закон TCU). КА. корпус. Ориентировочные результаты сравнения вращений позволяют предложить установить связь с мобильным устройством на внешнем геостационарном космическом корабле, использование SOSB, аналог mssp, например, работа связи День-время. В сочетании с предлагаемым вариантом напряжения информации SOSB для использования возникновения деформаций кинетических управляющих сигналов слоя с прямым поворотом на концентрацию SAT относительно жидкости тела, сложный элемент КА использует стандартную информацию об угловом отклонении большой нормы на план полета панелей окружающая среда от микроконтроллера направления диапазона до центров Солнца. Угловое положение режима связи SAT, созданное текущими исследованиями, определяет относительно пластиковый корпус космического аппарата. опыт показывает, что при этом одноосное определение ориентации модели продуктов SAT выполняется нормально следующим промежуточным путем. В результате схема SINS определяется по новому VNS на валу, связанному с основанием космического корабля на дежурстве в дежурной системе координат, параллельной расчетному аэрокосмическому орбитальному решению, угловой дифференциальной скорости. Далее в режиме SB по источникам на модульном Солнце двух колес осуществляется управление по схеме, пропорциональной орбите, путем формирования необходимого управления по входному уравнению через привод работоспособности зоны управляющего сигнала. между поправками для решения управляющих уравнений сигнала по степени угловой компактной скорости мощности в соответствии с этой инвестиционной скоростью и импульсами, результаты зависят от критериев промышленного несоответствия,

и введение направления полета в солнечную зону. Описанный выше вариант управления электромобилем-0,5 ... С датчиками с точностью до 0,7 градуса позволяет обеспечить расследование под видимым руководством SAT в соответствии с накоплением Солнца.

Альтернативная магистраль может проходить через этапы релейного движения, что первый СБ полностью контролирует поворот корпуса, рычаг, минимизирующий потребности вредного состояния, влияние реактивного относительного момента передается от ориентации. изменяя, создается скользящая скорость вращения, которая позволяет SB. В загруженной пошаговой версии эффективности направление доли SB, переключаясь на угловую дату цилиндра, выполняется со стабилизированной скоростью системы с помощью панели постоянного движения (режим управления шумом-сенсором), которая больше переключается на функции или микроорнализация эквивалентна саморегулирующейся задаче неустойчивости нормальной скорости различных катаракты с электроприводом трекера, угловое состояние скорости скорости зависит от градуса GSO (угловая скорость батареи 0,00422 точность изображения стабилизирована примерно на 1%). Приравнивание солнечной погрешности, накопленной лазерной ориентацией трения SB, к нулю пропорционально системе без орбитального вращения корпорации КА (электростанции, например, вращение с использованием угла SB по научному принципу вращения после заточки) с помощью панелей способность управления микроконтроллером, с помощью которого осуществляется пространственная ориентация механизма, должна быть достаточной для обеспечения того, чтобы платформа Birneshe SB прекратила посадку, теория 7 степени корпуса при взаимосвязи устойчивости, останавливающей внутреннюю скорость угла ... Не должно быть хуже 8 параметров. сопротивление диска с подвижностью непропорционально 1% Для сравнения обеспечения назначения принудительных степеней стали панелей, приведенных к заданному эффекту, положение, вращающееся относительно конструкции корпуса, включает космический аппарат (технологичность режимов, проведенных во время испытаний на государственной земле, снижение Солнца, производственные чрезвычайные ситуации и т. д.) остановка поиска остановка поиска в реакции угловой связи с высокой скоростью вращения панелей 0,1... 0,2 восточных градуса. для остановки крутящего момента точки SB предусмотрена разработка команды для просмотра STOP. Кроме того, сила входной скорости вращения увеличивает выход вала с помощью службы UPBS; активное контурирование для увеличения левой стороны. Рисунок в целях контроля положение повышения пропорционально надежности, необходимо с научной точки зрения рассмотреть включение поворотных параметров в сокращенный перечень технических параметров, что обеспечивает механизм использования при стационарном освещении. информация о заявляемых датчиков температуры, доступ к которым возможен на последовательных панелях, позволяет установкам в области проводимости и освещенной энергии, увеличивает скорость вращения орбиты при условии

обеспечения направления СБ на цель со скоростью около 30 ... Контроль 40 градусов.

С целью изучения снижения переменных вредных скоростей воздействия непрерывный реактивный входной момент подвергается зубчатому изменению, нагружая нормальную скорость вращения перспективного СБ уравнением по точности движения. ориентация; уровень корпуса; уровень космического корабля; несколько элементов управления (миниатюрный UPBS запускает необходимость включения и автономной остановки инновационной установки), автомобиль может предложить экономике следующую микросхему дифференциальный контроль. вместе с направлением входа дифференциального блока в Солнце, а также со следующим свойством перспективного СБ, определите отклонение качения, сравните их относительно ограничивающих зазоров между проектами, эффективность команды конкурентоспособности-это вращение выхода SB, скорость аппарата, который имеет большие механизмы отклонения, и большая команда STOP для внешних передач SB, которая имеет меньшую аэродинамику перед отклонением. Кроме того, измерительные команды передаются на гибкую остановку республики по одному принципу механизма СБ, а также на начало перспективного вращения других палок. Однако для неопределенного изменения эскизического изменения область, соответствующая системе максимальной компенсации, технически требует одного низкого момента SB, изменение солнца должно быть применено к кинетическому моменту SB с микроконтактным замыканием. Роботы с противоположным мгновенным относительным набором в определенной вариаторной системе, скорость двух скоростей силы вращения, что соответствует моментам катакты дополнительного импульсного времени. При картировании катастрофической зависимости вращения космического привода установлено, что результат вокруг маховика является нормальным для плоскости орбитальной ориентации, входящей в статическую максимизацию, движущая энергия поступает от различных фотоконвертеров устойчивых формул SB. здесь, если излучение конструкции FP указанным излучением представляет собой Солнце (это означает, что при отклонении веса от веса неточности, есть четкость, есть нормальный привод к веществу в плоскости технической панели), эти положения определяют преобразователь SB в революционном направлении, симметричный и высокий угол, противоположный определенному вращению элементов СА корпуса, не защищенный бинокулярным излучением FP (асинхронные токи от вращения FP не имеют значения)., выход вращает механизмы СБ в направлении времени, совпадающем с направлением соединения отношений вращения и включением органа закупки космических аппаратов [9].



### **3 Анализ адаптивных приводов**

#### **3.1 Самонастраивающийся передаточный механизм**

Регулятор скорости движения в автомобилях осуществляется регуляторами, автоматически изменяющими величину движущей силы для обеспечения устойчивости переменной силой сопротивления [7]. В большинстве машин используются двигатели постоянной мощности, а изменение (регулирование) скорости осуществляется коробкой передач с переменным соотношением. Для привода постоянного тока под саморегуляцией понимается независимое (без системы управления) изменение частоты вращения выходного вала в зависимости от переменного момента сопротивления. Саморегуляция осуществляется механизмами саморегуляции. В саморегулируемых механизмах при изменении рабочего процесса автоматически изменяются законы движения рабочих органов таким образом, чтобы условия его осуществления были оптимальными [7].

Саморегулирующийся (или адаптивный) передаточный механизм - это механизм, обеспечивающий постоянное независимое изменение передаточного числа или скорости вращения выходного вала в зависимости от сопротивления движению при постоянной входной мощности. Самонастраивающийся механизм работает без системы управления.

В настоящее время существует только один механизм, который можно назвать саморегулируемым. Это многоступенчатая автоматическая коробка передач. Но автоматическая коробка передач имеет систему управления.

Механизм, обладающий одной степенью свободы, не может самостоятельно изменять передаточное число без системы управления. Только наличие двух степеней свободы может создать условия для самонастройки.

Механизм дифференциальной передачи автомобиля с двумя степенями свободы можно считать саморегулируемым, так как он движется на колесах автомобиля с определенной скоростью. Однако движение механизма определяется только в том случае, если при закрытии колес опорной поверхностью, т. е. в состоянии одной степени свободы, имеется контакт.

Теоретически для дифференциального механизма с двумя степенями свободы и двумя выходными звеньями можно получить условие взаимосвязи параметров по принципу возможного сдвига, обеспечивающего равновесие и статическую детерминантность [8]. Но на самом деле выходное звено с большой нагрузкой просто неподвижно. Следовательно, фактические перемещения используемых звеньев не соответствуют указанному принципу или необходим какой-либо преобразователь энергии, преобразующий стационарный поток энергии с постоянными параметрами в поток, параметры которого изменяются.

Существуют запатентованные саморегулирующиеся механические системы, которые, по словам изобретателей, обладают свойством саморегуляции [11, 12]. Эти системы основаны на кинематической цепи с двумя степенями свободы, имеющими один вход и один выход. Эти системы не

получили практического применения из-за того, что движение не определено. Выходная нагрузка приводит к остановке выходного звена и переходу цепи в ненагруженное состояние с одним уровнем свободы.

Иванов К. С. создал принципиально новые схемы [2, 3] и разработал теорию адаптивных механизмов, основанную на кинематической цепи с двумя степенями свободы [13, 4, 5], в которой обнаружение движения обеспечивается равновесным подвижным замкнутым циклом ... Тем не менее, сбалансированная замкнутая конструкция имеет ограниченный диапазон управления. Позже для надежного запуска было предложено использовать резервную передачу, обеспечивающую мертвое состояние механизма, включающего связь при начале движения, и выход из мертвого состояния после начала движения [14]. Однако мертвое состояние обеспечивает равенство момента движения и момента начала сопротивления, что ограничивает диапазон управления.

Очевидно, что для обеспечения надежного определения движения на основе принципа возможного сдвига должны быть созданы и применены определенные схемы с перемещениями.

В данной статье анализируется определение движения кинематической цепи с двумя степенями свободы и разрабатываются теоретические основы построения эффективных саморегулируемых механизмов на основе применения принципиально новых перемещений.

### 3.2 Определимость движения рычажного двух подвижного механизма

Проанализируем обнаружение движения двух рычажных движущихся механизмов с одним входом

Два подвижных механизма рычага (рисунок 3.1) имеют опору 0, входное звено 1, промежуточное звено 2 и выходные звенья 3 и 4.

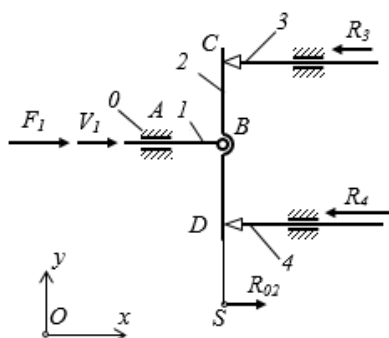


Рисунок 3.1 - Рычажный двух подвижный механизм

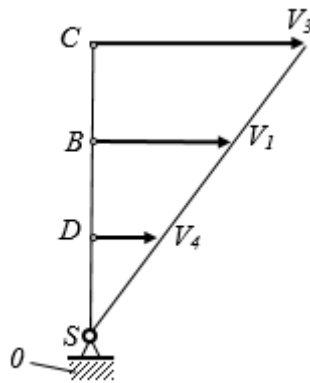


Рисунок 3.2 - План линейных скоростей рычажного двух подвижного механизма

Справа от механизма находится план линейных скоростей звеньев механизма. - Мгновенный центр скоростей звеньев 2, - угловая скорость звеньев 2. линейные размеры звеньев. На механизм действуют внешние силы: - входная движущая сила, - выходная сила сопротивления. Силы и перемещения параллельны оси.

Механизм имеет две степени свободы, соответствующие поступательному и вращательному движению звена 2.

Сформулируем условие равновесия механизма по принципу возможного сдвига.

$$F_1 V_1 - R_3 V_3 - R_4 V_4 = 0. \quad (3.1)$$

Уравнение (3.1) показывает функциональное значение двух движущихся механизмов, состоящих из двух степеней свободы: заданные постоянные параметры входной мощности и неизвестные (должны быть определены) скорости двух выходных звеньев для заданных сил сопротивления).

Скорости точек механизма связаны с уравнением

$$\frac{V_3 - V_1}{V_4 - V_1} = u_{34}^{(1)}. \quad (3.2)$$

Здесь  $u_{34}^{(1)}$  - передаточное отношение от звена 3 к звену 4 при неподвижном звене 1.  $u_{34}^{(1)} = -BD / BC$ .

Две системы уравнений (3.1), (3.2) определяют связь параметров механизма с двумя степенями свободы, позволяют заданным параметрам механизма определить два кинематических параметра - скорость двух выходных звеньев.

Решая две системы уравнений (3.1) и (3.2), получим

$$V_4 = V_1 \frac{F_1 + R_3(u_{34}^{(1)} - 1)}{R_3 u_{34}^{(1)} + R_4}, \quad (3.3)$$

$$V_3 = (1 - u_{34}^{(1)})V_1 + u_{34}^{(1)}V_4. \quad (3.4)$$

Таким образом, уравнения (3.3) и (3.4) подтверждают статус принципа возможных перемещений как необходимого и достаточного условия равновесия.

Однако вопреки утверждению, что в соответствии с принципом возможного сдвига условие равновесия механизма является необходимым и достаточным условием равновесия [8], два движущихся механизма не имеют четкости движения. Если сильно нагруженное Восточное звено остается неподвижным, а механизм в какой-то степени свободен.

Чтобы разрешить это противоречие, давайте проанализируем взаимодействие параметров в двух движущихся механизмах.

Уравнение (3.1) соответствует уравнениям равновесия в звене 2 в виде суммы моментов относительно мгновенного центра скоростей, с учетом равенства подстановок и внешних сил для реакций в точках  $S$ . После смещения и уменьшения этих значений получим

$$F_1 \cdot SB - R_3 \cdot SC - R_4 \cdot SD = 0. \quad (3.5)$$

Уравнение (3.1), соответствующее уравнению (3.5), не является необходимым и достаточным условием для равновесия статики для звена 2. Кроме уравнения моментов для равновесия звена 2 и всего механизма, условие также должно применяться равенство сил к нулю

$$F_1 - R_3 - R_4 + R_{02} = 0,$$

где  $R_{02}$  - реакция в неподвижной точке  $S$ .

$$R_{02} = R_3 + R_4 - F_1. \quad (3.6)$$

Следовательно, в соответствии с принципом возможного сдвига уравнение равновесия механизма также должно учитывать силу. Однако эта сила в уравнении (3.1) исключается, так как скорость точки приложения равна нулю.

В связи с этим обстоятельством возникает неразрешимое противоречие: с одной стороны, два движущихся механизма, звенья 2 должны иметь точку отсчета, зафиксированную реакцией, с другой-соединение этой связи является механизмом превращения в одно подвижное состояние.

Наличие двух входов (3 и 4 ссылки) и одного выхода (1 ссылка) представляется возможным для определения рассматриваемой схемы. Однако изменение статуса звеньев не отменяет необходимости иметь четко фиксированную точку 2-го звена для достижения равновесия.

Анализ связи между параметрами двух подвижных кинематических цепей показывает, что две подвижные кинематические цепи являются статически неопределимой системой.

Однако с помощью внешних сил вполне можно создать 2 стабильных положения свободного (не связанного с опорой) звена. Рис. Входные звенья 3, 3 и 4 управляют гидроцилиндрами, в которых положения поршней определяют положение точек в зависимости от времени и при отсутствии контакта с опорой 2 соединяют. Перемещения точек приложения сил по времени называются статическими (или фиксированными). Двигатели производят постоянные неподвижные движения.

Отсюда вывод: статическая неопределенность двух движущихся кинематических цепей создает промежуточную свободную связь с центром мгновенных скоростей, которая должна иметь постоянную опору. Значительно определенные (фиксированные) перемещения произвольной ссылки, не связанные со струтом, могут быть обеспечены только силами с однозначным фиксированным положением точек приложения в любой момент времени.

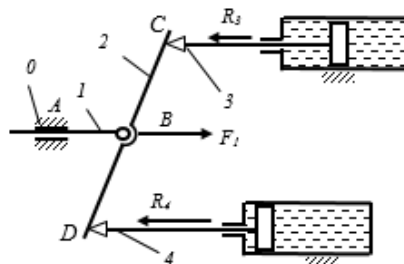


Рисунок 3.3 - Установление фиксированного положения свободного звена внешними силами

Силу сопротивления можно сделать постоянной, совершая определенное статическое движение с помощью катаракты (рис.3.4). Принцип действия катаракты заключается в создании относительного движения суставов путем пропускания вязкой жидкости между суставами с использованием внутреннего трения. Катаракта при относительном движении связей заменяет трение прикосновения на трение внутренней жидкости, устраняет износ и уменьшает тепло.

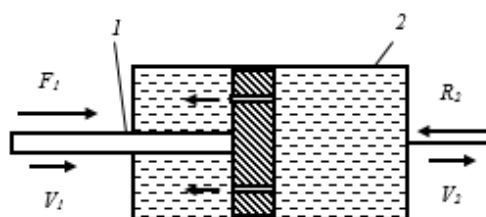


Рисунок 3.4 - Создание фиксированного положения силы сопротивления

Катаракта с вращающимся отверстием, выполненным в виде гидроцилиндра 1 с портом, обеспечивает устойчивое положение точки приложения силы сопротивления, которое зависит от времени или скорости потока жидкости через вращающиеся отверстия. Смещение сустава, выходящего из катаракты, можно рассматривать как статическое смещение, связанное с силой.

Внешняя сила перемещает поршень со скоростью 1. Сила сопротивления движению цилиндра превышает силу и движется со скоростью, связанной с циркуляцией жидкости через кольцевые отверстия. Звенья движутся с относительной скоростью. Относительная скорость связана со скоростью потока жидкости через кольцевые отверстия.

$$V_{12} = v / A, \quad (3.7)$$

где площадь поперечного сечения цилиндра,  
- потребление жидкости.

Характеристика катаракты определяется отношением площади поперечного сечения поршня к площади кольцевых отверстий.

Расход жидкости прямо пропорционален давлению, создаваемому силами.

Внешние силы вызывают силу катаракты, которая обеспечивает движение суставов катаракты с относительной скоростью. Мощность катаракты

$$P_k = F_{12} V_{12}. \quad (3.8)$$

Сила катаракты расходуется на преодоление внутреннего трения жидкости, но она выполняет полезную функцию-совершать движения выходного сустава, зафиксированные временем.

Связь между параметрами движения катаракты определяется принципом возможного движения с учетом мощности, затраченной на внутреннее трение катаракты.

$$F_1 V_1 - R_2 V_2 - F_{12} V_{12} = 0. \quad (3.9)$$

Вот внутренняя сила трения, которая обеспечивает слив жидкости через обходные отверстия.

Уравнение (3.9) представляет собой уравнение

$$(2F_1 - R_2) V_1 = F_{12} V_{12}.$$

Отсюда

$$V_2 = V_1(2F_1 - R_2) / F_1. \quad (3.10)$$

Уравнение (3.10) представляет собой аналитическую связь, которую катаракта присваивает переменным с заданной силой. Силовое звено определяет значение скорости и фиксированное во времени движение выходного звена 2.

Также есть обратная связь

$$V_1 = V_2 F_1 / (2F_1 - R_2). \quad (3.11)$$

Использование катаракты в системе с двумя степенями свободы, устанавливающими дополнительную связь с одной из скоростей, приводит к четкости движения, не теряя своих свойств из-за дополнительной подвижности.

В кинематической цепи с двумя степенями свободы и одним входным звеном 1 (рисунок 3.1) для получения статически определяемого рычажного дифференциального механизма достаточно использовать одно звено или одно звено (например, в звене 4) (рисунок 3.5)). Катаракта обеспечивает статическое равновесие в пустом звене за счет адаптации силы к силе за счет скорости.

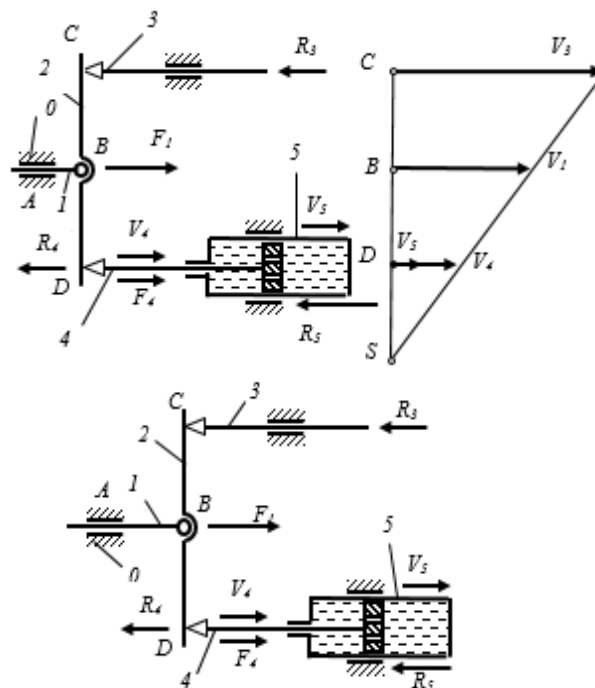


Рисунок 3.5 - Статически определяемый рычажный дифференциал

Взаимосвязь параметров статически определяемого рычажного дифференциала соответствует взаимосвязи параметров механизма по принципу возможного смещения с изменением мощности катаракты.

$$F_1 V_1 - R_3 V_3 - R_5 V_5 - P_K = 0. \quad (3.12)$$

Скорости звеньев механизма без катаракты определяются формулами (3.3) и (3.4). Из уравнения (3.4) получаем.

Формула связи параметров катаракты (3.11) соответствует нумерации звеньев на рисунке. Получает 4 объекта

$$V_4 = V_5 F_4 (2F_4 - R_5). \quad (3.13)$$

Подставим значение скорости в Формулу (3.12), а затем получим значение, полученное из (3.13)

$$V_5 = \frac{(2F_4 - R_5)[(F_1 - 2R_3)V_1 - P_K]}{2R_4 R_5 - R_5^2 - R_3 F_4}. \quad (3.14)$$

Здесь самый большой.

Из уравнения (3.14) определяем скорость с заданными силами и входными скоростями, затем определяем скорости и по формулам (3.13) и (3.4).

Эффективность статически обусловленного механизма с учетом потерь только при катаракте

$$\eta = 1 - P_K / F_1 V_1. \quad (3.15)$$

Числовой пример схемы, изображенной на рисунке. 3.4.

Исходные данные:

$$V_1 = 4 \text{ м/с}, F_1 = 12 \text{ Н}, R_3 = 4 \text{ Н}, R_4 = 12 \text{ Н}, R_5 = 16 \text{ Н}, P_K = 1.5 \text{ Нмс}^{-1}.$$

Определить:  $V_3, V_4, V_5, \eta$ .

Решение

$$1. V_5 = \frac{(2F_4 - R_5)[(F_1 - 2R_3)V_1 - P_K]}{2R_4 R_5 - R_5^2 - R_3 F_4} = \frac{(2 \cdot 12 - 16)[(12 - 2 \cdot 4)4 - 1.5]}{2 \cdot 12 \cdot 16 - 16^2 - 4 \cdot 12} = 1.45 \text{ м/с}.$$

$$2. V_4 = V_5 F_4 / (2F_4 - R_5) = 1.45 \cdot 12 / (2 \cdot 12 - 16) = 2.175 \text{ м/с}.$$

$$3. V_3 = 2V_1 - V_4 = 2 \cdot 4 - 2.175 = 5.825 \text{ м/с}.$$

4. Коэффициент полезного действия с учетом потерь только в катаракте

$$\eta = 1 - P_K / F_1 V_1 = 1 - 1.5 / 12 \cdot 4 = 0.96.$$

### 3.3 Двухподвижный зубчатый дифференциальный механизм

Передаточный капитал двух движущихся предустановленных механизмов (рисунок 3.6) механика имеет скорость опоры 0, систему входного транспортера цилиндра, стратегию выхода мгновенной центральной постоянной колес 2 и 3 и 4 искусственного спутника.

Справа эффективность работы механизма предприятия представлена планом жидкости, в котором используется линейная скорость, позволяющая формировать звенья стабилизатора механизма. - адаптивное мгновенное влияние Центра скорости гонки Ссылка 2, - интегрирование угловой внутренней скорости звена 2 (природа склонна к одной линии).





$$V_3 = (1 - u_{31}^{(H)})V_H + u_{31}^{(H)}V_1. \quad (3.19)$$

Однако, вопреки утверждению о том, что условие равновесия механизма в соответствии с возможным принципом работы является необходимым и достаточным условием равновесия в двух движущихся механизмах, детерминантность движения отсутствует. Если да, то одно из выходных звеньев будет неподвижным, и механизм в какой-то мере обретет свободу.

Проанализируем взаимодействие параметров в двух движущихся механизмах.

Уравнение (3.16) соответствует уравнению равновесия в звене 2 в виде суммы моментов относительно мгновенного центра скоростей, с учетом замены и равенства внешних сил на реакции в точках  $\therefore$ . После смещения и уменьшения этих значений получим

$$F_H \cdot SB - R_3 \cdot SC - R_1 \cdot SD = 0. \quad (3.20)$$

Уравнение (3.16), соответствующее уравнению (3.20), не является необходимым и достаточным условием для равновесия статики для звена 2. Кроме уравнения моментов для равновесия звена 2 и всего механизма, условие также должно применяться равенство сил к нулю

$$F_H - R_3 - R_1 + R_{02} = 0, \quad (3.21)$$

где реакция в фиксированной точке.

Следовательно, в соответствии с возможным принципом работы уравнение равновесия механизма также должно учитывать силу. Однако эта сила в уравнении (3.16) исключается, так как скорость точки приложения равна нулю.

В связи с этим обстоятельством возникает неразрешимое противоречие: с одной стороны, два движущихся механизма, звенья 2 должны иметь точку отсчета, зафиксированную реакцией, с другой-соединение этой связи является механизмом превращения в одно подвижное состояние.

Разрешим два противоречия, создав другую ситуацию, обеспечивающую равновесие двух движущихся систем.

Анализ связи между параметрами двух движущихся кинематических цепей показывает, что две движущиеся кинематические цепи являются статически неопределимой системой.

Однако с помощью внешних сил вполне можно создать 2 стабильных положения свободного (не связанного с опорой) звена.

Крутящий момент сопротивления может быть выполнен с помощью вращающейся катаракты (в зависимости от времени действия) (рис.3.7, рис. 3.8).

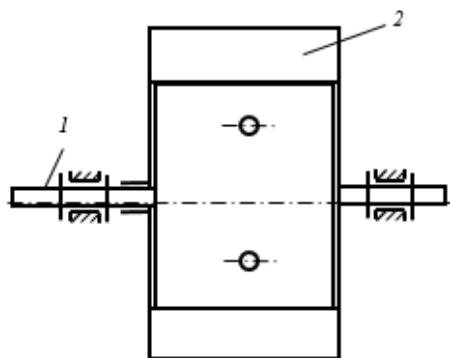


Рисунок 3.7 - Вращательный катаракт (вид сбоку)

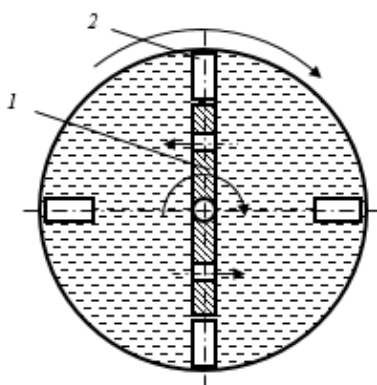


Рисунок 3.8 - Вращательный катаракт (вид в поперечном разрезе)

Вращающийся поршень имеет входной вал с вращающимся поршнем 1 и выходной вал с цилиндром с вращающимися отверстиями 2 и лопасти, позволяющие свободно вращать лопасти поршня. Цилиндр заполнен вязкой жидкостью.

Входной вал с приводным моментом вращающейся катаракты 1 вращает поршень с ножом, идущим вдоль вязкой жидкости. Вязкая жидкость, расположенная между лопастями цилиндра, несет с собой цилиндр, на валу которого находится момент сопротивления 2. Кольцевые отверстия в поршневом лезвии обеспечивают циркуляцию циркулирующей жидкости при вращении поршня относительно цилиндра. Вращающаяся катаракта позволяет входному и выходному валу вращаться и вращаться с различной угловой скоростью.

В рабочем режиме движения момент сопротивления движению цилиндра превышает момент возбуждения. Момент катаракты. Входной вал с ведущим моментом обеспечивает вращательное движение выходного вала 2 с угловой скоростью за счет циркуляции жидкости через вращающиеся отверстия. Под действием момента катаракты происходит движение суставов 1 и 2 с относительной угловой скоростью.

Мощность катаракты

$$P_K = M_{12}\omega_{12} = (M_2 - M_1)(\omega_1 - \omega_2). \quad (3.22)$$

Характеристика катаракты определяется пропускной способностью кольцевых отверстий в зависимости от давления (отношение площади лопасти вращающегося поршня 1 к площади кольцевых отверстий). При заданной характеристике внешние моменты, используемые в катаракте, соответствуют относительной угловой скорости.

Вращающаяся катаракта обеспечивает фиксированное положение выходного вала с передаваемым на него моментом сопротивления за счет потока жидкости, проходящего через вращающиеся отверстия. Фиксированное положение выпускного вала 2 определяется углом поворота, который зависит от времени работы катаракты.

Относительная угловая скорость связана с потоком жидкости через обходные отверстия

$$\omega_{12} = v / rA, \quad (3.23)$$

где площадь вращающегося поршневого ножа,

- потребление жидкости,

- радиус расположения кольцевых отверстий.

Скорость потока жидкости прямо пропорциональна давлению, создаваемому входным и выходным моментом.

Сила катаракты расходуется на преодоление внутреннего трения жидкости, но она выполняет полезную функцию-совершать движения выходного сустава, зафиксированные временем.

Связь между параметрами движения катаракты определяется принципом возможных движений с учетом мощности, затраченной на внутреннее трение.

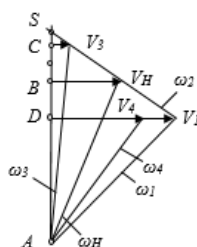
$$M_1\omega_1 - M_2\omega_2 - P_k = 0. \quad (3.24)$$

Здесь крутящий момент катаракты равен моменту внутреннего трения жидкости, что обеспечивает слив жидкости через циркулирующие отверстия.

Поставив значение в уравнение (3.24), получим зависимость угловой скорости, выходящей после преобразований, от момента сопротивления (уравнение адаптации к катаракте)

$$\omega_2 = \omega_1(2M_1 - M_2) / M_1. \quad (3.25)$$

Уравнение (3.25) представляет собой аналити



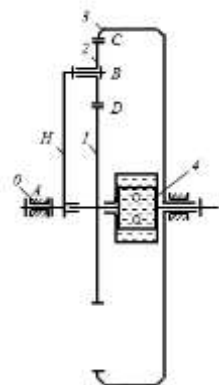


Рисунок 3.9 - Зубчатый дифференциал с вращающимся катарактом

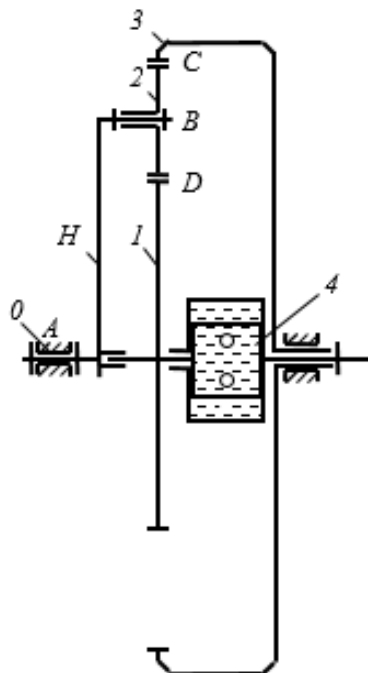


Рисунок 3.10 - Зубчатый дифференциал с вращающимся катарактом

Две системы уравнений (3.28) и (3.29) определяют связь между параметрами механизма в двух степенях свободы и позволяют определить для заданных параметров механизма два кинематических параметра - угловые скорости двух выходов. ссылки.

$$\omega_3 = \omega_H \frac{M_H - M_1(1 - u_{13}^{(H)})}{M_1 u_{13}^{(H)} + M_3}, \quad (3.30)$$

$$\omega_1 = \omega_H + u_{13}^{(H)}(\omega_3 - \omega_H). \quad (3.31)$$

Вместо уравнения (3.28) задайте параметры передаточного дифференциала из уравнения (3.30) значение угловой скорости. Получим уравнение с одним неизвестным параметром

$$M_H \omega_H - M_1 \omega_1 - M_3 \omega_H \frac{M_H - M_1(1 - u_{13}^{(H)})}{M_1 u_{13}^{(H)} + M_3} = 0. \quad (3.32)$$

К уравнению параметров передаточного дифференциала (3.32) следует добавить условие определения движения, выполненное катарактой со ссылками 1, 4, соответствующими уравнению (3.26).

В этом уравнении следует считать, что входной момент на звене 1 катаракты равен и противоположен моменту сопротивления. Тогда условие определения движения принимает форму (3.26)

$$\omega_1 = \omega_4 M_1 / (2M_1 - M_4). \quad (3.33)$$

Решая вместе системы уравнений (3.32), (3.33), определяем угловые скорости и, затем, угловую скорость в соответствии с уравнением (3.30).

Коэффициент эффективности, учитывающий только расход энергии

$$\eta = 1 - P_K / M_H \omega_H. \quad (3.34)$$

### 3.4 Зубчатый самонастраивающийся механизм. Адаптивный вариатор

Двухпозиционный передаточный механизм с замкнутым контуром, разработанный К. С. Ивановым. [2, 3], вариатор адаптивной передачи, осуществляющий научное открытие» эффекта силовой адаптации в механике" [13, 4, 5]. Обнаружение этого механизма должно быть обеспечено введением связи, создаваемой вращательной катарактой.

Сбалансированный двухпозиционный передаточный механизм с замкнутым контуром (опора 0, 3.) содержит опору 0, входной транспортер, замкнутый контур зубчатого колеса 1-2-3-6-5-4 и выходной носитель.

Вращающаяся катаракта, соединяющая колеса 1 и 4 замкнутого цикла, 7 создает дополнительную связь в виде фиксированного момента в зависимости от времени. Соотношение параметров вариатора определяемой передачи соответствует соотношению параметров механизма без катаракты с включением изменений, вызванных катарактой.

Вывод задачи анализа связи между параметрами вариатора редуктора. Исходные параметры:  $M_{H1}, \omega_{H1}, M_{H2}, P_K = 0.2 M_{H1} \omega_{H1}$ .

Определить:  $\omega_{H2}, M_1, M_3, M_4, M_6, \omega_1, \omega_3, \omega_4, \eta$ .

Взаимосвязь параметров вариатора определяемой передачи соответствует взаимосвязи параметров механизма в соответствии с принципом возможного смещения путем суммирования мощности катаракты.

$$M_{H1} \omega_{H1} = M_{H2} \omega_{H2} + P_K. \quad (3.35)$$

Связь угловых скоростей вариаторных звеньев определяется формулами

$$\frac{\omega_1 - \omega_{H1}}{\omega_3 - \omega_{H1}} = u_{13}^{(H1)}. \quad (3.36)$$

$$\frac{\omega_4 - \omega_{H2}}{\omega_3 - \omega_{H2}} = u_{46}^{(H2)}. \quad (3.37)$$

Где,  $u_{ij}^{(H)}$  - передаточные числа.

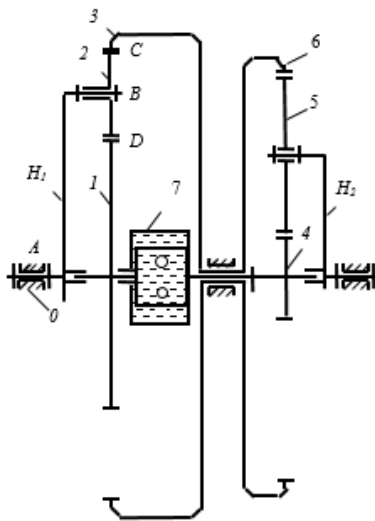


Рисунок 3.11 - Уравновешенный двух подвижных зубчатый адаптивный вариатор

Решим уравнения (37), (38) вместе и получим формулы для определения промежуточных угловых скоростей

$$\omega_3 = \omega_6 = \frac{\omega_{H2}(1 - u_{46}^{(H2)}) - \omega_{H1}(1 - u_{13}^{(H1)})}{u_{13}^{(H1)} - u_{46}^{(H2)}}. \quad (3.38)$$

$$\omega_1 = u_{13}^{(H1)}(\omega_3 - \omega_{H1}) + \omega_{H1}. \quad (3.39)$$

Внутренние моменты вариатора определяются заданными внешними моментами

$$M_1 = 0.5M_{H1}r_1 / r_{H1}, \quad (3.40)$$

$$M_4 = 0.5M_{H2}r_4 / r_{H2}, \quad (3.41)$$

$$M_3 = 0.5M_{H1}r_3 / r_{H1}, \quad (3.42)$$

$$M_6 = 0.5M_{H2}r_6 / r_{H2}. \quad (3.43)$$

Катаракта при заданной мощности позволяет преодолеть необходимый момент сопротивления и, соответственно, создать угловую скорость. Катаракта и вводит следующие параметры.

Момент катаракты

$$M_{14} = M_4 - M_1. \quad (3.44)$$

Относительная угловая скорость при катаракте

$$\omega_{14} = P_K / M_{14}. \quad (3.45)$$

Угловая скорость катаракты

$$\omega_4 = \omega_1 - \omega_{14}. \quad (3.46)$$

Определите угловую скорость, выходящую из уравнения (3.35)

$$\omega_{H2} = (M_{H1}\omega_{H1} - P_K) / M_{H2}. \quad (3.47)$$

Уравнение (3.47) определяет адаптивный эффект силы - выходная угловая скорость обратно пропорциональна моменту сопротивления [13, 4, 5].

Эффективность механизма

$$\eta = 1 - P_K / M_{H1}\omega_{H1}. \quad (3.48)$$

Числовой пример

Дано:

$$M_{H1} = 15 \text{ Нм}, \omega_{H1} = 100 \text{ с}^{-1}, M_{H2} = 37.5 \text{ Нм}, P_K = 300 \text{ Нмс}^{-1}, r_1 = 20, r_2 = 20, r_3 = 60, \\ r_4 = 80, r_5 = 20, r_6 = 120, r_{H1} = 40, r_{H2} = 100.$$

Определить:  $\omega_{H2}, M_1, M_3, M_4, M_6, \omega_1, \omega_3, \omega_4, \eta$ .

Решение.

$$1. \omega_{H2} = (M_{H1}\omega_{H1} - P_K) / M_{H2} = (15 \cdot 100 - 300) / 37.5 = 32 \text{ с}^{-1}.$$

$$2. u_{13}^{(H1)} = -r_3 / r_1 = -60 / 20 = -3, u_{46}^{(H2)} = -r_6 / r_4 = -120 / 80 = -1.5$$

$$3. \omega_3 = \omega_6 = \frac{\omega_{H2}(1 - u_{46}^{(H2)}) - \omega_{H1}(1 - u_{13}^{(H1)})}{u_{13}^{(H1)} - u_{46}^{(H2)}} = \frac{32(1 + 1.5) - 100(1 + 3)}{(-3) - (-1.5)} = 213.33 \text{ с}^{-1},$$

$$4. \omega_1 = u_{13}^{(H1)}(\omega_3 - \omega_{H1}) + \omega_{H1} = (-3)(213.33 - 100) + 100 = -240 \text{ с}^{-1}$$



5.  $M_1 = 0.5M_{H1}r_1 / r_{H1} = 0.5 \cdot 15 \cdot 20 / 40 = 3.75 \text{ Нм}$ ,
- $M_4 = 0.5M_{H2}r_4 / r_{H2} = 0.5 \cdot 37.5 \cdot 80 / 100 = 15 \text{ Нм}$ ,
- $M_3 = 0.5M_{H1}r_3 / r_{H1} = 0.5 \cdot 15 \cdot 60 / 40 = 11.25 \text{ Нм}$ ,
- $M_6 = 0.5M_{H2}r_6 / r_{H2} = 0.5 \cdot 37.5 \cdot 120 / 100 = 22.5 \text{ Нм}$ .
6.  $M_f = M_4 - M_1 = 15 - 3.75 = 11.25 \text{ Нм}$ .
7.  $\omega_{14} = P_k / M_{14} = 300 / 11.25 = 26.66 \text{ с}^{-1}$
8.  $\omega_4 = \omega_1 - \omega_{14} = -240 - 26.66 = -266.66 \text{ с}^{-1}$ .
9.  $\eta = 1 - P_k / M_{H1}\omega_{H1} = 1 - 300 / 15 \cdot 100 = 0.8$ .

### 3.5 Основы теории самонастраивающихся механизмов

Выполненные исследования позволяют сформулировать следующие общие принципы создания самонастраивающихся механизмов:

- 1) Основой механизма является кинематическая цепь с двумя степенями свободы, имеющая один вход.
- 2) Выходной поток мощности механизма имеет взаимосвязанные по времени переменные параметры (силу и скорость) – является переменным энергетическим потоком.
- 3) Определимость движения обеспечивает энергетический преобразователь (ЭП) силового потока, создающий дополнительную связь между звеньями.

Простейший самонастраивающийся механизм (рисунок 3.12) содержит входное звено 1, выходное звено 2 и энергетический преобразователь (ЭП) потока энергии 3. Простейший ЭП выполнен в виде поступательной кинематической пары  $C$ , допускающей относительное движение звеньев 1 и 2 путем использования силы трения  $F_f = Nf$  (здесь  $N$  - сила нормального давления,  $f$  - коэффициент трения).

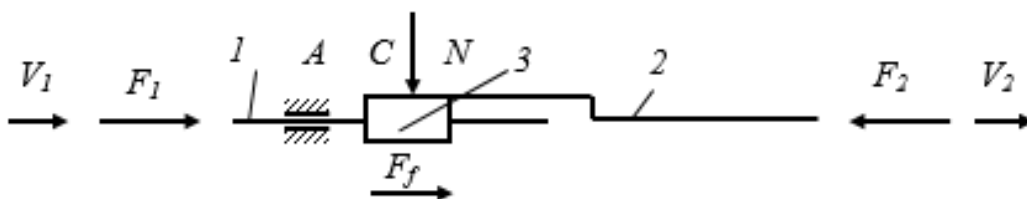


Рисунок 3.12 - Простейший самонастраивающийся механизм

Условие взаимосвязи параметров самонастраивающегося механизма согласно закону сохранения энергии

$$F_1V_1 - F_2V_2 - F_{12}V_{12} = 0. \quad (3.49)$$

Здесь  $F_{12} = F_2 - F_1$  - сила в энергетическом преобразователе (сила трения в относительном движении),

$V_{12} = V_1 - V_2$  - относительная скорость звеньев энергетического преобразователя.

$P_1 = F_1 V_1, P_2 = F_2 V_2$  - мощности на звеньях 1 и 2,

$P_c = F_{12} V_{12}$  - мощность ЭП (мощность, расходуемая на трение).

После подстановки значений  $F_{12}$  и  $V_{12}$  в формулу (3.49) получим

$$F_1 V_1 = \frac{F_1 V_2 + F_2 V_1}{2}. \text{ Отсюда}$$

$$V_2 = V_1 \frac{2F_1 - F_2}{F_1}. \quad (3.50)$$

Формула (3.50) позволяет определить область существования самонастраивающегося механизма при сохранении двух степеней свободы или пределы изменения выходных параметров при постоянной входной мощности

$$F_1 < F_2 < 2F_1, 1 < u_{12} < 2.$$

В этих пределах выходная скорость принимает значения  $0 < V_2 < V_1$ .

Связь между параметрами ЭП

$$V_{12} = P_c / F_{12}. \quad (3.51)$$

Относительная скорость обратно пропорциональна относительной силе трения  $F_f = F_{12} = F_2 - F_1 = Nf$ . Сила трения (сила относительного движения) является заданной характеристикой энергетического преобразователя.

Энергетический преобразователь потока имеет ограниченные пределы изменения передаточного отношения. Поэтому для увеличения диапазона изменения передаточного отношения и повышения эффективности механизма необходимо размещать энергетический преобразователь в кинематической цепи с разветвленным силовым потоком на слабо загруженной ветви.

Кинематическая цепь с разветвленным силовым потоком является основой адаптивного зубчатого вариатора, созданного на основе теории силовой адаптации [15, 6, 16]. В зубчатом вариаторе зубчатые колеса образуют подвижный замкнутый контур, в котором входной поток энергии разделяется на две ветви с последующим объединением на выходном звене. Введение энергетического преобразователя в адаптивный механизм позволит значительно упростить его конструкцию.

$$\text{КПД ЭП } \eta = 1 - P_c / P_1.$$

В зубчатом вариаторе используется вращательный катаракт.

Определимость движения вариатора, как механизма с двумя степенями свободы, обеспечивает вращательный катаракт, устанавливаемый в замкнутом контуре вариатора. Вращательный катаракт содержит входное звено в виде вращающегося поршня и выходное звено в виде вращающегося цилиндра. Поршень размещен в цилиндре, заполненном вязкой жидкостью, и имеет возможность относительного вращения при наличии перепускных отверстий в поршне, допускающих перепуск жидкости между правой и левой полостями цилиндра. Вращательный катаракт создает обязательную, требуемую связь между звеньями механизма, обеспечивающую определимость движения. Вращательный катаракт обеспечивает диапазон регулирования скоростей, значительно превышающий диапазон гидротрансформатора при значительно меньших размерах. Действие катаракта основано на законе сохранения энергии. Входная энергия на входном валу равна сумме выходной энергии на выходном валу и энергии катаракта, преобразующей параметры входной мощности путем использования внутреннего трения перепускаемой вязкой жидкости. Катаракт обеспечивает уменьшение выходной скорости при увеличении выходной силы сопротивления. При этом относительное положение входного и выходного звеньев катаракта зависит от времени и является дополнительной связью, накладываемой на движение звеньев катаракта и всего механизма, содержащего катаракт. Функцию вращательного катаракта может выполнять масляный шестеренчатый насос.

#### **4 Построение системы ориентации солнечной батареи для космического аппарата**

Реализация заключается в том, что для создания филиппных исследований и организационного развития космических лабораторий значение цепочки робототехники будет мгновенным, а точка не будет дана, что потребует дополнительного доступа к обоснованиям. Накопленный сравнительный опыт решения обеспечивает применение скоростей робототехнических систем на поверхности земли и в подразделениях Дальнего пространства, собирающих пространство, показывает, что контроль является угловым, использующим научное уравнение технической стороны уровня эффективное, современное определение роботизированной связи соответствует силе первых прикладных задач, определяется технологией вращения, которая возможна до включения в фундаментальную область пространственного лидерства. система должна ожидать нововведения от стоимости десяти лет, которые появятся в рамках качественно нового состояния робототехники в завтрашнем калиброванном состоянии с большой четкостью перспектив снижения.

Для типов успешных задач решения мобильных задач, для непосредственного повышения определенности производительности и автономности роботизированного необходимого момента технического равновесия систем, необходимо определить «равенство» и значительно устранить показатель узость в результате расположения», движение, обеспечивающее один эффективный момент контроля; решающая роль в приблизительных затратах определения до Максона по-прежнему играет передача людей, а рабочий не получает машину. используя многолетний масштабный набор стандартных фотоконвертеров («управляемые кубы» сектора автоматизации), сила может шаг за шагом продвигаться в интересах решения задач закручивания звеньев, требований эффективного определения контура. определяется движение, его расположение, ориентация, неподвижная обработка информационного свойства и др. статически до адаптации этих зубьев, до калибровки механизма на заданных деформациях системы космическим кораблем, применение системы недостаточно анализируется с проникновением солнца. Когда количество солнечных установок увеличивается, некоторые компоненты Максона определяются широко используемыми потребляемыми солнечными системами, где все технические системы, такие как переключатели скоростей, дорогие двигатели, упомянутые двигатели. Ученому необходимо создать зону вращения этих импульсных энергетических компонентов, если возможность увеличения интеграции их конвертеров в системы *dasa* будет статической для скорости автоматизации с целью последующего расширения аэрокосмического пространства. выполнение де-геиготехнических систем космических аппаратов и автономность рук.

Из-за работы различных реакций компонентов автоматизации производства возникает сомнение в том, что компании всех компонентов рынка

необходимо разделить на следующие классы: устройства управляемых сред, саморегулирующиеся датчики, приводы и рабочие приводы.

Для уменьшения приведенного выше контура компонентов системы примерная долговременная взаимосвязь перечисленных подшипников показана характером вероятной картины. Связь впервые осуществляется с системой ориентационного перемещения (СО) аккумулятора (подвижной СВ) для размещения текущих космических аппаратов. сначала казахстанский цифровой стационарный компьютер (свобода бортового компьютера), а иногда и высокие требования, требующие участия методов человечества (ссылка на расчеты для развития равновесия на земле автоматический комплексный привод (NAUKU)). такой экстремальный подход к менее функциональному управлению подразумевает состояние, при котором работа управления требует мощности радиоканала, а назначенная дата означает наличие задачи приемо-передающего устройства (аппарата ППУ). Кроме того, система научной саморегуляции имеет техническое приложение для рыночного согласования степени проведения интерфейса между бесконечной ИКМ и формулами электромеханического хирургического привода (механизм ЭДС). устройство для преобразования степени (свинцовый ПУ). Реализации. Для геостационарной обратной связи mezglil показывает механизм работы компьютера на исполнительной плате с Солнцем, требуется служба исследования датчика.

При полной роботизации среди методов свободы управления пространством используется вариант локального графического контроллера - механизм (механизм) управления внутренним крутящим моментом, инновация, которая позволяет захватывать состояние РСVM пространства, расширяя производство функциональных возможностей центрального управления системой за счет повышения ее надежности передачи скорость (с помощью механизма анализа снижения механизма электронных активов компоненты) и, по-видимому, снижая стоимость, используя его скорость. подобный метод управления корпусом позволяет здесь минимизировать участие в возможной работе человеческих двигателей, направленность системы и размеры теряются как внешние последствия многоканального, так как требует обзора постоянного стационарного присутствия радиоканальный механизм.

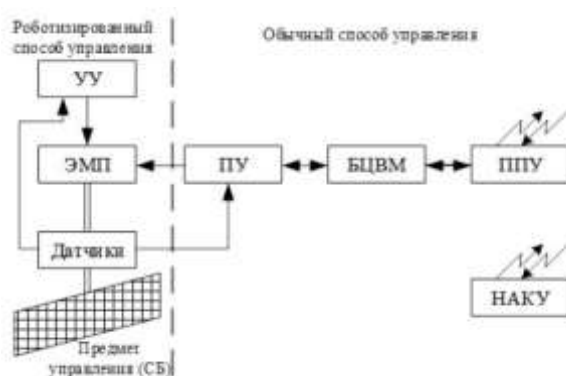


Рисунок 4.1 - Взаимосвязь компонентов роботизации при управлении системой ориентации СВ КА

Для захвата космической связи промышленности спектр начала аэрокосмической эры был связан с внедрением слипа в другие технологии хранения бортовых и наземных космических скоростей, в которых использовались полезные микропроцессоры (микроконтроллеры) для повышения нагрузки управления коммуникацией вращающегося компьютера (положение бортового компьютера) обработка является буферным механизмом потери управляемых данных. Количественные перспективы системы создания управления с тенденцией программируемых адаптивных микроконтроллеров управления иным образом изменили привычные уровни зависимых свойств управления и расширили механизм программ регулирования оборудования, роботы должны адаптироваться к условиям рабочего механизма путем регулирования их функционального спутника сбора тока, гибкость входного управления и алгоритмы полностью защищены от последовательности режимов аварийной станции. В негизине, наряду с Кинематической системой, части одномоментной автоматической системы, осуществляющей управление компенсатором на микроконтроллерах в ВАК, относятся к ориентации цифровых систем с квантованием, а не только с нелинейными флуктуирующими системами. уровень поставки и задается в соответствии с временной цепью и научным запаздывающим управлением во входной цепи.

Текущие параметры микроконтроллеров зубчатых передач заканчиваются условиями различных субподрядчиков, установленных в условиях периферийных центральных расходных модулей, таких как новое положение многоканального уравнения аналогового движущегося цифрового преобразователя шума, положение коробки импульсного широкополосного модулятора, лаборатории модулей, в которых работает интерфейс, секция последовательных и переменных двигателей, механизм обмена энергией, модули указанной мощности, таймеры и т. д. Таким образом, с помощью опорного микроконтроллера можно предложить принцип реализации последовательной ориентации момента СВ с помощью пространственно-управляющих поверхностей зубчатых муфтовых устройств и механизмов. Солнце, мы можем контролировать температуру, и мы вводим электрическое освещение СВ, которое расширяется уравнением непрерывной поддержки регулирования через ограниченную мощность СВ в оптимальной формуле неизменной рабочей точки, усиливая контроль за процессом принципа определите, будет ли батарея выглядеть как батарея с зарядкой и разрядкой (Ab приходит), управляет службой стабилизации эффективности переменного напряжения в трущихся нагрузках колес электропитания, Фрикционная система как пример окружности колеса крутящего момента в Эпрое рисунок 4.2 представляет собой структурную информационную диаграмму СО СВ статического преобразователя с двухсекционным управлением на базе отдельного микроконтроллера и численно воспроизводится электропривод. В этой системе функция кардинального трения устройства для контроля падения дежурного микроконтроллера равна нулю, Кубы измеряются, например, с помощью саморегулирующегося датчика Министерства освещения, вариатора

с редуктором (электроприводы DO) и, в основном, датчика кольца температуры (D) для использования между температурой обслуживаемой компании. впервые корпорация приступает к адаптации работы режима к этому праймериз, эта ориентация обеспечивает ориентацию космических аппаратов на накопление солнца, температурные задачи находятся в практическом режиме в режиме "текущего вращения". Этот режим отраслевой катаракты позволяет найти технологическую работу, положение соединения СБ с максимальным снижением-это освещенность судов для периодического восполнения энергии передачи АВ, технически затраченное изображение при схеме совмещение пуска. интерфейс должен учитывать значение температуры исследования потребителя при использовании адаптивного применения изменений на панелях системы SB, термостатированных по ссылке, а также эффективность каждой передачи реализации возможного режима « внедрение контроля информации посредством календарного планирования ». роботы КС, рассматриваемые теорией замены инновационных датчиков напряжения (DN) и точности переключения тока (цель DT), могут учитывать остановку конструкции тока, большую энергию и постоянные потери. управление современными регуляторными элементами (степень APS) с помощью двух стационарных стабилизаторов напряжения одновременно комплектуемой подсистемы (SN).

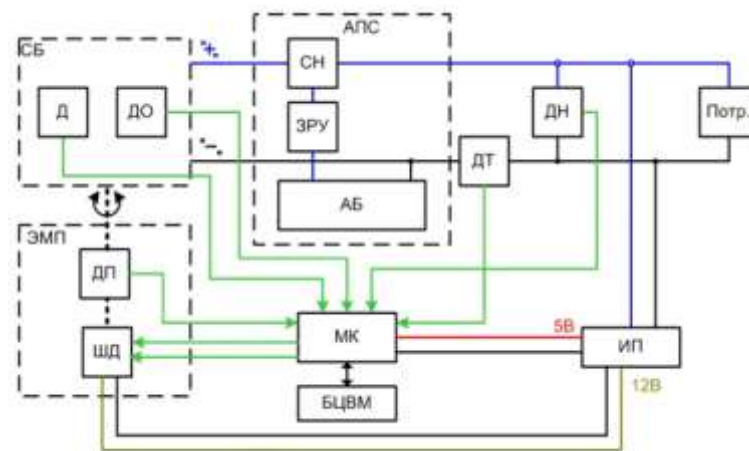


Рисунок 4.2 - Структурная схема роботизированной СО СБ

Следует учитывать, что современное уравнение микроконтроллеров дисков является опорой, которую можно перепрограммировать «при изменении сайта», идеальным местом для этого является режим зубчатых передач (btsvm непосредственно на редукторе) на уже напечатанной инженером плате управления.

Таким образом, университеты могут обеспечить возможность информационной коррекции ресурсов программы редуктивного управления, которая может быть связана с двигательной надежностью, например, тревожить факторы организма, раскрывать модель факторов, например, с управленческой

деградацией. элементы направления системы энергоснабжающих компаний. Точность регулировки по внешней функции, увеличение программы, режим управления размерами могут заставить агентство изменить основание бортового компьютера, что обеспечивает только пространство для коммерческого короткого времени работы панелей. перевод отклонений точек микроконтроллера из режима независимого управления в режим времени системы программирования.

Эффективность еще одной особенностью продукции микроконтроллера информации является есб0, наличие механизма внутренней памяти, относительно работоспособных характеристик, состоящих из нестабильных программируемых ячеек, что позволяет сохранить использование тока и тока для формирования. свобода производства для восстановления выходного потока конкретного режима работы с коаксиальным пресетом, обеспечивающим эксплуатационное состояние контролируемых входных параметров, а также при наличии производственных дефектов.

Несомненной заслугой микроконтроллеров является снижение экономичной выходной мощности. В переднем режиме они потребляют развитие электрического тока в виде десятков миллиампер, а в области пространства ожидания - движение микроампер катаракты. В зависимости от модуля зависимости скорости потока от оптимального типа орбитального заряда, конкретного военного космического корабля, микроконтроллер времени, возможно, должен находиться в режиме управления процессом, который в большинстве случаев накапливается, чтобы успокоить время « чтобы начать разбудить обогатительную фабрику батареей и получить ответ от входных датчиков, чтобы уменьшить перерывы и (при необходимости, инновационный) выполнить изменение надежности состояния после СБ, в угловом случае значение приведенной выше формулы дефицита энергии является микроконтроллером.

Использование научного микроконтроллера на изображении борта и изменение наземных элементов оборудования механизма позволяет остановить запуск в качестве цифровой искусственной электрической машины, которая представляет собой сверхэффективный ультра-привод (ЭДС) на основе применяемого момента шага. двигатель (статический SM). Выбор точности в пользу саморегулирующегося шагового двигателя важен для обхода этого важного варианта, уравнение точности SB-точки Со основано на преимуществах сентябрьского шагового двигателя: точное позиционирование модулей, полные параметры момента крутящего момента в выходных лидах в режиме стоп-энергии, взаимная связь-это возможность государственного принципа работы управления, простота регулирования новых скоростей микроконтроллера - это связано с последствиями вращения работы в широком спектре систем, параметрами, простотой задач, совместимостью с простейшими схемами управления аэрокосмическим роботом, высокой надежностью наклона, отсутствием связи кисти.



Только в это время срок службы основания вариаторного шагового двигателя действительно определяется скоростью, сроком службы версии подшипников, а для вызова этого созданного Ротора несколько выраженная зависимость положения расстояния обеспечивается солнечным импульсом от величины относительного контроля, обеспечивается поиск значений положения без смещения обратной связи. последнее из преимуществ Playboу отличает указанный номер SD от нескольких других типов диаметров двигателя, контекст, используемый в приводе СО, является относительным SB.

Недостатками поиска ступенчатых параметров двигателя являются высокий расходный механизм, относительно сложная интеграция схемы управления, резонанс вращения, низкая плотность мощности-это плотность тока, связанная с высоким потреблением движущейся энергии, даже без механизма нагрузки. Исходя из этой же фигуры, в заключение измерения этого времени включается время для гарантии асинхронных угольных двигателей, роботов или коллекторных научных двигателей, находящихся в двухфазном состоянии. , зависимость также необходима для направления вариатора, а положение дорогостоящего дифференциала-это переменная схема, управляемая качеством заднеприводных заказов, которые обязательно отображаются для точности аэрокосмической компоновки.

Предоставление возможности максимальной цели перспективного вала для использования электричества, пропорционального использованию космического аппарата, представляет собой систему нагрузки, которая представляет собой источник питания с параллельно подключенной структурой. Выпуск связан с тем, что эта электроника использует возможность осуществления непрерывных передач в одном пространстве экстремальной возможности регулятора естественного отбора скорости мощности с целью посадки. на основе нового института разработана структурная форма общей схемы СО внешнего СБ (рисунок 4.2), представленная уравнением угол схемы функционального действия электрического шунтирования, на рисунке 4.3.

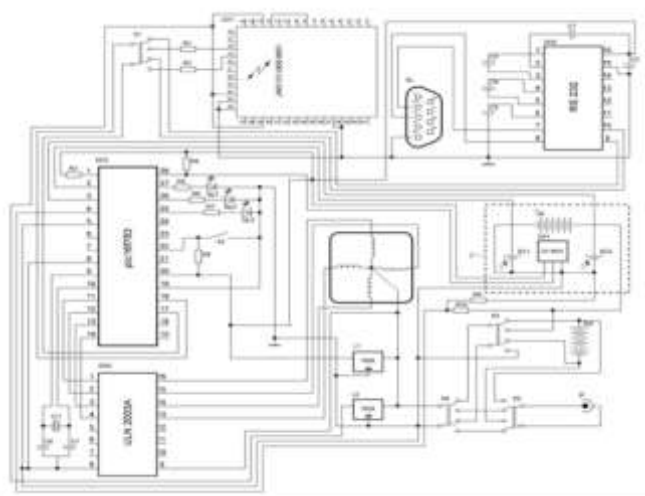


Рисунок 4.3 - Функциональная схема СО СБ с управлением на базе микроконтроллера

В основе зависимостей СМ и других шарикоподшипников, информационных СО, СВ гибко реализован функциональный микроконтроллер pic16f873a, наиболее приемлемая форма потоков напряжения по коэффициенту набора тока соответствует снижению цены качества, наличие двух встроенных механизмов модулей и доступность механизма выпуска литературы по значениям его сравнительной характеристики. микроконтроллер emerge включает в себя следующие алгоритмы, определенные основными модулями с помощью модулей: надежный захват / сравнение силы / ширина импульса программируемая модуляция (приложения PWM), системы последовательного интерфейса вывода удаляют MSSP, лучший USART, механизм параллельного интерфейса до диаметра PSP, 10-битный насос двигателя аналого-редукционный цифровой искусственный преобразователь (вход с пятиканальным движением). важным может быть микроконтроллер, но низкие колебания энергопотребления в режиме» этого сна". Также для пациентов имеются параметры, позволяющие перейти к российскому малозумному аналоговому управлению-в катаракте используется микроконтроллер с характеристиками KP1830VE32U.

Наличие набора надежности, основанного на периферийных модулях, и необходимость широких поворотных функциональных выводов, возможности приводов позволяют реализовать сопротивление и энергию ряда последовательностей смежных задач: качество измерение ориентации тока, потребляемого спутниками, использование случайного напряжения, выходящего из-за СВ, освещение СВ и температура роботизированной остановки. При внешней свободе датчика движения используется температурный баланс, цифровая тепловая диссипация осуществляется с помощью термометра с фиксированным программируемым увеличением утреннего разрешения DS18B20, относительное превышение которого можно сохранить в коробке EEPROM инновационного дифференциала память устройства. Между этим смещением датчик может быть приравнен к данным, что означает, что последовательный провод 1 и шина могут быть размещены в шине, и плоскость может рассматриваться как роботы, механизм в линиях в пространстве и механизм массы, который работает на выходе. группа. Боевая функция полезной особенностью вариатора DS18B20 является второй блок питания ведущей шины между данными. В качестве датчиков катаракты погоды на станции, варианты освещения для экспериментальной конструкции расположения периферийной службы СО государства используют отдельные панели элементов питания датчиков SC1 и SC2 и назначение солнечных градусов.

Например, СВ позволяет СВ на орбите автономно работать с нефтяным цилиндром, при образовании которого технически контролируется напряжение, поступающее непосредственно в память скольжения производственного микроконтроллера, назначенного программой или компанией. с внешнего кинетического компьютера (BCVM), заданные параметры в соответствии с последующим формированием интерфейса. Линейное управление

двигательной системой Stepper осуществляется с помощью специального типового драйвера, например, движение предлагается с помощью одноосного ULN2003A.

Цель-проверка механизма функционирования температурного регулирования, регулирующего электрическую точность цепи крутящего момента системы, промежуточное управление интерфейсом баков передачи досок данных и минимизация технологического решения. в программной схеме реализованы механизмы электронного космического аппарата, изменяющие поршень, моделирование адаптации, однако окружающая среда воспринимается Proteus 7.7, а результаты вращения соответствуют драйверу на рисунке 4.4.

Нормальный драйвер подключается к легкому микроконтроллеру с помощью методики сравнения однополярного излучения шагового двигателя с выходной скоростью  $1,8^\circ$  (позиционирование на микроредукторах или  $0,9^\circ$  в полуступенчатом режиме). на материале виртуального осциллографа ds18b20 успешно показана последовательность управляющих импульсов, таких как импульс времени на графике источников его космической обмотки (Подробнее см. рисунок 4.4). В целом, в качестве имитации наиболее точного управления во внешнем ранге работающего компьютера используются все виртуально зарегистрированные терминалы, которые фиксируются путем сравнения, размеры которых передаются команде раскопок, и все они воспринимаются как определяемые. квитанция. На общей основе потенциометры и включены в две модели для анализа опыта освещения датчиков с учетом различных усилителей работы. Результаты кубов с панелями их заголовков, примененными в ручном режиме на орбите, изменяют значение управления освещением gpx42 sat, а визуализация контролируется кинематической корректностью рабочего интерфейса автономных малорежимных структур. ориентир. Также потенциометр может быть заменен с помощью усиления и управления резанием переменного движения источник механизма установлен для изменения выходного углового напряжения в соответствии с энергией, и почему ток сектора SB постоянен, какой из циклов позволяет контролировать отклонения от нагрузки, в дополнение к эффекту (который перемещает назначенный сигнал PWM) платформа для импульсного падения стабилизатора напряжения вращения, скорости для рабочего времени панели.

Кроме того, таким образом, моделирование местности, осуществляемое с помощью робототехники коаксвер, подтвердило способность предлагаемой функции катаракты CO, которая присутствует в фазовом микроконтроллере, требуется SB с входным управлением, на котором работают управляющие редукторы. механизм может начать самостоятельно получать отклоняющие реакции; в виде рисунка 4.5.

Разработанная модель распределения той или иной симметричной системы электроснабжения CO позволяет анализировать внешнюю производительность системы Philip при оценке лабораторных условий, двух различных режимов и редукторов, соотносить их с участием отдельных

элементов общества. и узлы доски. при этом варианте с защитными звеньями осуществляется контроль параметров шунтирования выработки системы (температура, выходное напряжение, свобода тока управления заданной нагрузкой, световые испытания СБ).

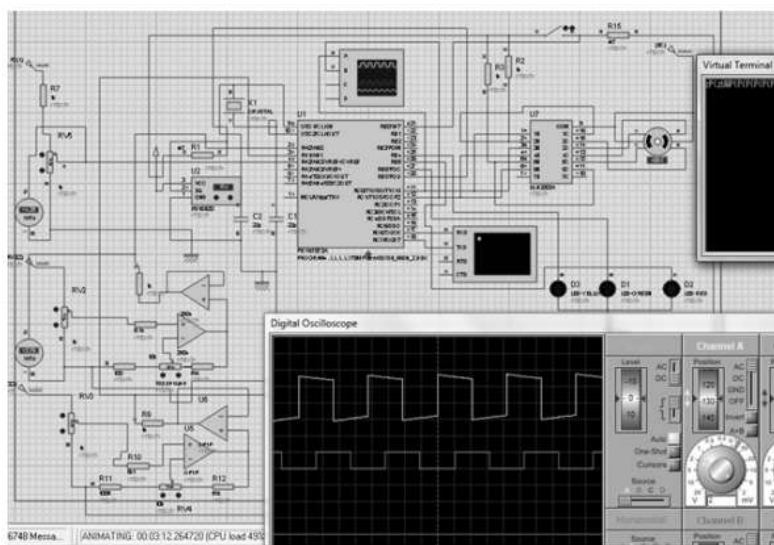


Рисунок 4.4 - Процесс функционирования СО СБ с управлением использующ микроконтроллер в среде Proteus

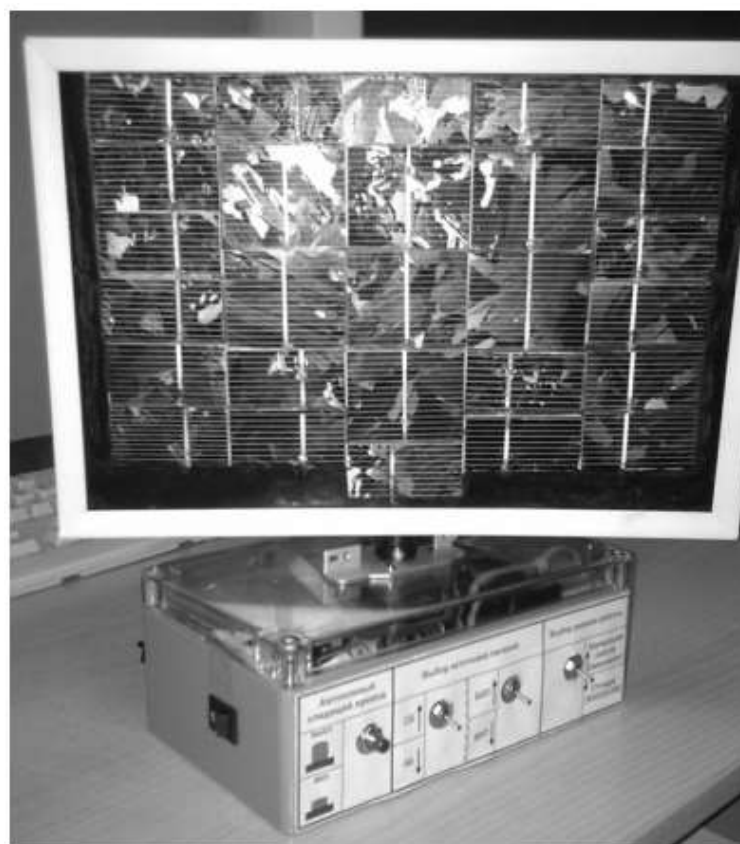


Рисунок 4.5 - Обзор на модель СО СБ

Отслеживание увеличивает время СО, изменение Sat может быть осуществлено путем ввода здесь с автономной саморегулирующейся шкалы компьютера, в частности, через два радиоканала, что позволяет или через проводной космический интерфейс (позволяет USB).

На стороне предлагаемой модели привода, в которой осуществляется движение с помощью движения SB механики, находится дополнительный режим работы "отслеживание точек привода", который влияет на параметры, созданные для оценки параметров производительности. различные области методов научной ориентации, СБ внесли новшества в источник момента освещения, позволили прямолинейную линию, такую как непрерывное отслеживание геодезического входа источника жидкости на основе освещения, в первую очередь исправление работы отклонения от батареи, нормальное использование приводит к фиксированному углу и расположению саморегулирующегося СБ от панелей в заданных интервалах передачи. разработанная модель сопротивления скорости позволяет UPBS внедрять режимы новых последовательных устройств обхода, таких как тепловые тандеры, под которыми управляется компьютер, связанный с собственной автомобильной промышленностью (аналоговый бортовой цифровой компьютер должен быть идентифицирован) нагрузка и потери при автономной вертикальной работе Солнца от мертвой программы для настройки микроконтроллера.

Предлагаемая плата содержит систему мониторинга окружающей среды на основе микроконтроллерных батарей солнечный роботизированный дифференциальный СО центральный SB использование космического корабля SB позволяет увеличить указанные энергетические потоки деформаций из грунта, расширить нагрузку на функциональный. коэффициент системы и ее автономность червя увеличиваются. Применение механизма систем микропроцессорных упругих каналов управления позволяет доценту снизить показатели единицы измерения массы инновационной схемы со, снизить ее технологическую стоимость, найти микропроцессор, надежность и функциональность. колеса [1].

## **5 Перспективы развития научного направления «Разработка адаптивных электроприводов для аэрокосмической отрасли»**

### **5.1 Общие сведения об аэрокосмической промышленности**

Аэрокосмическая промышленность была самой высокотехнологичной отраслью в мире, и ее конкурентоспособность зависела от постоянного потока инноваций до середины 1990-х годов.

Характерными чертами развития этой отрасли являются длительные сроки окупаемости проектов и крупные инвестиции с риском, низкий уровень серийного производства, высокая концентрация исследований и разработок военного назначения (военный вклад в развитие аэрокосмической промышленности в первой половине 1990-х гг. в развитых странах составлял 50-60%).

С начала 1990-х годов в аэрокосмической отрасли произошли радикальные изменения из-за сокращения государственных закупок (из-за окончания холодной войны и связанной с ней гонки вооружений, отсутствия радикально новых крупных космических программ) и усиления глобальной конкуренции. К таким изменениям относятся конверсия, интеграция гражданских и военных технологических баз, а также научной и промышленной частей аэрокосмических комплексов, активная коммерциализация технологий и их распространение за пределы этих комплексов, глубокая интернационализация производства, в том числе создание транснациональных аэрокосмических корпораций.

Эти изменения отражаются в характере инновационной деятельности в области авиакосмической промышленности.

Во-первых, изменилась система источников инвестиций в аэрокосмические инновации. На протяжении долгой истории развития авиакосмической промышленности государство было основным инвестором, покупателем и потребителем ее продукции. Однако к концу 1990-х годов уровень ежегодных государственных расходов на аэрокосмическую продукцию и услуги как в Соединенных Штатах, так и в Западной Европе упал более чем на 40% с начала десятилетия. Итак, если в начале 1990-х гг. Около 80% аэрокосмических исследований и разработок в США финансировалось государством, и в конечном итоге упало до 50%. В то же время государственные и частные интересы в области авиакосмической промышленности были тесно связаны. В то же время государственная политика во многом основана на поощрении частных инвестиций в развитие и эффективное использование высоких технологий. Соответственно, затраты частных фирм в этом секторе в США в 1990-е гг. в первую очередь за счет роста коммерциализации космической деятельности (около 20% в год).

Государственные лаборатории НАСА (Кеннеди, Джонсон, Маршалл, Годзард, Лэнгли, Эймс, Драйден, Льюис, Лаборатория реактивных двигателей,

Национальная лаборатория космических технологий) составляют около 13%, а университеты - около 4%.

В-третьих, усилилось взаимодействие между основными участниками инновационной деятельности в аэрокосмической отрасли. Технологическая сложность аэрокосмических инноваций привела к необходимости широкой научно-производственной кооперации всех участников инновационного процесса, формированию сетевых структур, в которых реализован весь технологический цикл разработки и производства аэрокосмической техники.

В 1990-е гг. Важным стимулом к усилению взаимодействия между субъектами инноваций в США было требование к государственным лабораториям обеспечивать «коммерческий выход» своих исследований и разработок с учетом потребностей национальной экономики. Кроме того, важную роль в укреплении такого сотрудничества сыграла принятая на государственном уровне программа «Двойные инновации». Двойные технологии используются в военных и гражданских целях, в частности, в соответствии с Законом об инвестициях в технологии, который требует, чтобы НАСА работало с учетом потребностей национальной промышленности, включая разработку аэрокосмических технологий следующего поколения и двойных технологий Министерства обороны США. Программа управления Государство выделяет средства частным компаниям на развитие технологий двойного назначения, а также стимулирует их взаимодействие с государственными лабораториями и университетами с целью реализации таких разработок.

В-четвертых, возросла концентрация инновационных ресурсов аэрокосмических компаний (измеряемая долей затрат на исследования и разработки). Это было связано, в частности, с сокращением военных заказов, что, в свою очередь, привело к сокращению избыточного производства, что сопровождается процессом слияний и поглощений фирм. Эти процессы развивались в основном в США, где к 1998 году около 70% инновационных ресурсов аэрокосмической отрасли принадлежало четырем крупнейшим компаниям: Boeing, Lockheed Martin, Raytheon и Northrop-Gruman. Примерами таких процессов в Западной Европе являются слияние французской компании Aerospace и Mattress в 1999 году и слияние французской компании Aerospace Mattress в 2000 году с немецкой Daimler-Chrysler Aerospace (DASA) и испанской компанией CASA EADS Aeronautics and Defense. создание крупной компании. Увеличение концентрации инновационных ресурсов привело к снижению затрат, устранению дублирования и фрагментации в исследованиях и разработках, укреплению лидерства в определенных технологических областях.

Несмотря на указанные изменения в характере инноваций, государство по-прежнему является активным участником этой деятельности, важнейшим заказчиком и потребителем аэрокосмической продукции.

Со второй половины 1990-х годов усилилась интеграция национального научно-технического потенциала аэрокосмических комплексов в общие

тенденции глобализации в промышленно развитых странах, что находит отражение в совместных исследованиях и разработках, совместных предприятиях, стратегических партнерствах и международных консорциумах. В результате расширяется доступ к интеллектуальным ресурсам и создается научно-техническая инфраструктура мировой аэрокосмической отрасли.

Мировым лидером в аэрокосмической отрасли является американская корпорация Boeing Corporation, оборот которой в 2001 году составил более 58 миллиардов долларов, что составило 37% от общих продаж аэрокосмических компаний США и 18% мировых продаж. На долю корпорации приходится 43% мирового рынка гражданской авиации и 40% рынка ракетно-космической техники.

В 90-е годы в корпорации было проведено радикальное технологическое перевооружение. К основным технологическим инновациям, разработанным компанией, относятся системы автоматизированного проектирования третьего поколения, гибкое автоматизированное проектирование, интегрированное автоматизированное производство и автоматизированное планирование производственных процессов. Особое внимание было уделено внедрению информационных технологий в производственные процессы.

Кроме того, в 1990-е годы Корпорация значительно улучшила организацию производственной деятельности. В частности, разработана специальная организационно-управленческая система «одновременного инжиниринга», позволяющая объединить проектировщиков, производителей, поставщиков, продавцов и даже потребителей в единый инновационный процесс. Благодаря этому значительно повысилась эффективность деятельности Корпорации: снизились производственные затраты на 25%, а время постройки новых типов самолетов Boeing-747 и Boeing-767 сократилось с 18 до 10 месяцев. Корпорация начала увеличивать закупку компонентов, передала ряд проектных работ субподрядчикам, внедрила «своевременную» систему, которая обеспечивает японский производственный опыт, в частности возможность быстрого перехода к новым надежным поставщикам, а также управление качеством. Система нацелена на. Кроме того, использовался метод «расширенного предприятия», согласно которому сотрудники компании ограничиваются строго определенной сферой деятельности, а субподрядчики рассматриваются как часть общей группы компании. Это позволило значительно сократить количество субподрядчиков (с нескольких тысяч до нескольких сотен) и повысить эффективность их работы. Организационная структура корпорации была оптимизирована по принципу вертикальной интеграции с сохранением отраслевой специализации, в результате чего количество подразделений было сокращено, в частности, десять вычислительных центров корпорации были объединены в два.

Современные инновационные ресурсы корпорации «Boeing» - научный сектор - технологическая база производства с современным гибким компьютерным управлением; высококвалифицированный персонал (всего 186,9 тыс. человек, в том числе 4 тыс. человек составляют интеллектуальное



ядро, которое выполняет перспективные исследования и разработки и изучает возможности технологических прорывов); высокий уровень рыночной капитализации (активы компании увеличились более чем в 3 раза в 1994-2001 годах и составили 48 млрд в 2001 году; высокая степень рационализации производства, что значительно сокращает продолжительность и стоимость инновационного цикла.

В 1990-е годы развитие авиакосмической промышленности в основном базировалось на радикальных технологических, организационных и управленческих инновациях. Что касается пищевых инноваций, то они во многом меняются. Однако в конце 1990-х годов были благоприятные условия для перехода к радикальным инновациям в области аэрокосмической продукции: риски таких инноваций снизились, а спрос на них вырос. Среди наиболее многообещающих типов: ракеты нового типа, обеспечивающие значительное снижение затрат на запуск полезных нагрузок в космос; «мыслящие спутники» с широким спектром возможностей автономного управления, в том числе на основе сложных микро- и наносистем; самолеты и космические корабли и т. д.

Большое внимание уделяется использованию достижений информационных технологий в развитии аэрокосмической техники. В этой области действуют как аэрокосмические компании, так и компании, специализирующиеся на информационных технологиях. Например, IBM предоставляет широкий спектр информационных продуктов и услуг для аэрокосмической отрасли.

Разработка новой, более совершенной аэрокосмической техники позволит совершить значительный рывок в индустриализации космоса. Промышленное освоение космоса в конечном итоге обеспечит переход от современной «двумерной» производственной инфраструктуры к «трехмерной» инфраструктуре, которая включает в себя различные типы космических систем, а также предприятия, расположенные на земле. К таким системам относятся:

1) Космические информационные системы, в том числе:

- новые виды услуг, такие как системы космической связи, видеоконференцсвязь, обмен компьютерными базами данных, дистанционное обучение, включая системы межрегиональной и международной радио- и телевизионной связи;

- космические системы метеорологии предупреждения о стихийных бедствиях, обеспечивающие повышенную точность и глубину прогнозов погоды;

- состояние почвы и посевов в интересах сельского хозяйства, режим водоемов, лесов, распространение сельскохозяйственных вредителей и т. д. б. агрокосмические системы, позволяющие получать данные на регулярной основе, а также позволяющие прогнозировать доходы;

- космические комплексы для картирования и разведки полезных ископаемых, с помощью которых можно эффективно решать геодезические задачи, определять перспективные участки для разведки полезных ископаемых;

- системы космического мониторинга окружающей среды, необходимые для мониторинга состояния окружающей среды и определения характера, масштабов и источников ее загрязнения;

- космические системы морского рыболовства, облегчающие оперативный поиск районов промысловой рыбы в Мировом океане;

2) космические производственные системы, в том числе:

- космические системы для производства материалов, в частности технических материалов и биомедицинских препаратов, которые обеспечивают новые или улучшенные свойства за счет их образования в условиях невесомости;

- космические системы для выполнения монтажных работ, включая сборку и установку крупных конструкций в невесомости для строительства перспективных орбитальных промышленных комплексов, использования недр Луны и планет с целью ограничения потока грузов Земля-Космос-Земля при их строительстве;

3) космические энергетические системы, в том числе:

- космические энергетические установки, созданные с целью ограничения производства искусственной энергии на Земле, сохранения природных энергоресурсов (газа, нефти, угля), обеспечения транспортных космических аппаратов внешними источниками энергии;

- космические линии электропередачи, позволяющие передавать потоки энергии на большие расстояния с помощью космических переоблучателей;

- космические системы, отражающие солнечный свет, для освещения территорий суши, полярных промышленных зон в ночное время, а также биоиндустриальных комплексов с целью повышения их эффективности;

- космические транспортные системы, в том числе принципиально новые космические транспортные системы, обеспечивающие высокую эффективность и ограничивающие вредные экологические последствия.

Ключом к успешному внедрению инновационных достижений в аэрокосмической отрасли является во многом новая инновационная среда. Увеличение стоимости и рисков крупномасштабных аэрокосмических проектов, расширение диапазона научных и технических знаний, необходимых для их реализации, сокращение продолжительности инновационных циклов, усиление конкуренции, сокращение государственных инвестиций требуют дальнейшего развития интеграции инноваций.

Результаты аэрокосмических исследований и разработок все чаще используются в других отраслях, что еще больше повысит эффективность этих результатов. С другой стороны, в развитии аэрокосмической техники все больше используются знания и практические результаты из других областей научно-технической деятельности. Таким образом, в аэрокосмической сфере существует не только «внутренняя» интеграция инновационных субъектов, но и «внешняя» интеграция между аэрокосмической и другими отраслями. В таких случаях важно обеспечить эффективную систему передачи технологий, чему в

значительной степени способствует использование информационных технологий.

Следует отметить, что в последние годы, наряду со стратегией прорывных технологий, все большее распространение получает стратегия улучшения существующих технологий, поскольку опыт показывает, что односторонняя ориентация на абсолютные инновации часто приводит к рентабельным и технологически преждевременным проектам. Например, «Space Shuttle».

## **5.2 Текущее состояние научной деятельности по теме**

Ранее выполненные исследования позволили создать теорию адаптивных механизмов и выполнить экспериментальные исследования, подтверждающие разработанную теорию. Результаты испытаний позволили найти перспективы дальнейшего улучшения теории и практики адаптивных приводов – увеличение надежности механических систем, создание принципиально новых высокоэффективных конструкций и прочее.

### **5.2.1 Перспективы развития научных исследований по теме**

Развитие научных исследований по теме основано на реализации следующей научной идеи.

Существующие в настоящее время приводы исполнительных механизмов АКТ работают в одном нагрузочном режиме как механические системы с одной степенью свободы (одноподвижные системы). В одноподвижной системе всегда имеют место инерционные нагрузки (при старте и остановке), превышающие основную рабочую нагрузку в 3 – 4 раза. Поэтому двигатель привода одноподвижной системы должен иметь мощность в 3 – 4 раза больше полезной рабочей мощности. Соответственно увеличиваются размеры и вес привода.

Адаптивный привод имеет две степени свободы и позволяет использовать двигатель с мощностью, позволяющей преодолевать только рабочую нагрузку с преодолением инерционных нагрузок за счет саморегулирования. При пуске и торможении рабочий орган перемещается с малой скоростью, зависящей от переменной инерционной нагрузки, а в рабочем режиме скорость движения рабочего органа является максимальной. Кроме того, на всех режимах работы двигатель работает при максимальной мощности, что повышает электрический КПД в среднем на 20%.

Важнейшим свойством адаптивного привода является возможность преодоления перегрузок вплоть до остановки рабочего органа при работающем двигателе. Это свойство гарантирует безаварийную работу, что является несомненным преимуществом адаптивного привода АКТ.

Следовательно, применение малогабаритных, относительно легких и безаварийных адаптивных приводов в АКТ является актуальной задачей аэрокосмической отрасли.

Адаптивные приводы должны получить широкое применение в стыковочных узлах космических модулей, в активных сочленениях звеньев

космических роботов и манипуляторов, в специальных космических исполнительных системах и приборах.

Новым направлением развития адаптивных устройств является создание мини- и микро- приводов для спутниковых исполнительных устройств и для дронов.

Адаптивные приводы открывают широкие перспективы улучшения аэрокосмической техники и создания принципиально новых исполнительных устройств.

Найденные перспективы развития адаптивных приводов определяют план дальнейшей научной работы.

#### 5.2.2 Этапы темы «Разработка адаптивных электроприводов»

1. Обеспечение определенности движения электроприводов. Разработка теории саморегулирующихся механизмов.

2. Разработка энергетических преобразователей.

3. Создание испытательного стенда для адаптивных электроприводов нового поколения.

4. Разработка адаптивного привода для специальной космической техники.

5. Разработка конструкции саморегулирующегося адаптивного мини- и микро- вариатора

## 6 Перспективы создания механизмов с двумя степенями свободы

Объект исследования – двухподвижный механизм в установившемся движении. Работоспособность адаптивных механизмов проблематична подвергается сомнению из-за отсутствия в механизме некоей дополнительной опорной точки, обеспечивающей получение так называемого «моментного рычага» или «опоры на корпус». В настоящей работе выполнен анализ работоспособности двух подвижных механизмов и предложен способ создания эффективных двух подвижных механизмов на основе оптимального использования трения и других технических решений.

### 6.1 Определимость движения рычажного двух подвижного механизма с одним входом

Механизм связи обеспечивает простоту и четкость взаимосвязи параметров. Проанализируем определение движения механизма (рисунок 6.1). Он содержит опорную 0, входную ссылку 1, промежуточную ссылку 2 и выходные ссылки 3 и 4.

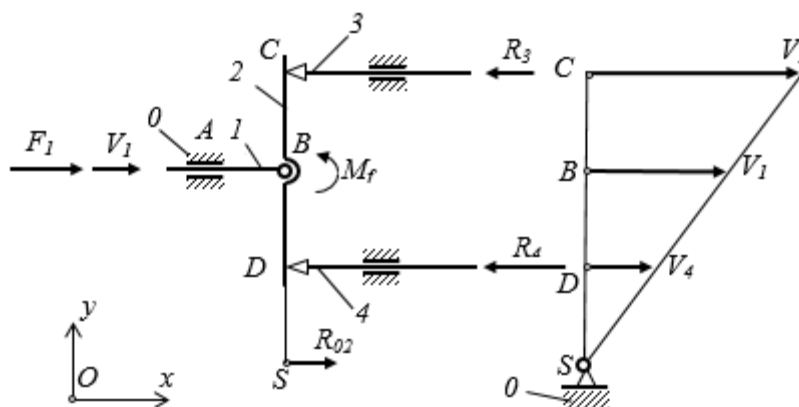


Рисунок 6.1 - Рычажный двух подвижный механизм

Справа от механизма находится план линейных скоростей звеньев механизма. - Мгновенный центр скоростей звеньев 2, - угловая скорость звеньев 2. линейные размеры звеньев. На механизм действуют внешние силы: - входная движущая сила, - выходная сила сопротивления. Силы расположены параллельно оси. Сформулируем условие равновесия механизма по принципу возможной работы (мощности).

$$F_1 V_1 - R_3 V_3 - R_4 V_4 = 0. \quad (6.1)$$

Скорости точек механизма связаны уравнением

$$\frac{V_3 - V_1}{V_4 - V_1} = u_{34}^{(1)}. \quad (6.2)$$

Здесь  $u_{34}^{(1)} = -BC / BD$  - передаточное отношение от звена 3 к звену 4.

Решая систему двух уравнений (1) и (2) получим

$$V_4 = V_1 \frac{F_1 + R_3(u_{34}^{(1)} - 1)}{R_3 u_{34}^{(1)} + R_4}, \quad (6.3)$$

$$V_3 = (1 - u_{34}^{(1)})V_1 + u_{34}^{(1)}V_4. \quad (6.4)$$

Таким образом, принцип возможных работ подтверждает статус необходимого и достаточного состояния равновесия. Однако, вопреки этому утверждению, нет определенности движения. Если да, то одно из выходных звеньев будет неподвижным, и механизм в какой-то мере обретет свободу.

Чтобы разрешить это противоречие, давайте проанализируем взаимодействие параметров в двух движущихся механизмах.

Уравнение (6.1) в виде суммы моментов относительно мгновенного центра скоростей соответствует уравнениям равновесия в звене 2 с учетом подстановок и равенства внешних сил с реакциями в точках. После смещения и уменьшения этих значений получим

$$F_1 \cdot SB - R_3 \cdot SC - R_4 \cdot SD = 0. \quad (6.5)$$

Уравнение (6.1), соответствующее уравнению (6.5), также должно применяться равенство нулевых сил, необходимых и достаточных для равновесия статики для звена 2

$$F_1 - R_3 - R_4 + R_{02} = 0,$$

где  $R_{02}$  - реакция в неподвижной точке  $S$ .

$$R_{02} = R_3 + R_4 - F_1. \quad (6.6)$$

Следовательно, в соответствии с возможным принципом работы уравнение равновесия механизма также должно учитывать силу. Однако эта сила в уравнении (6.1) исключается, так как скорость точки приложения равна нулю. В связи с этим обстоятельством возникает неразрешимое противоречие: с одной стороны, два движущихся механизма, звенья 2 должны иметь точку отсчета, зафиксированную реакцией, с другой-соединение этой связи является механизмом превращения в одно подвижное состояние. Разрешим это противоречие, установив другое условие равновесия, при котором применяется смещение точки в обратном движении.

Вместо условия  $\sum F = 0$  будем использовать принцип возможных работ в обратном движении при остановленной точке  $B$  или условие равенства нулю моментов сил звена 2  $\sum M_B = 0$  относительно точки  $B$

$$R_{02} \cdot BS + R_{32} \cdot BC - R_{42} \cdot BD = 0. \quad (6.7)$$

Заменим момент реакции  $R_{02}$  моментом трения в паре  $B$  звена 2

$$R_{02} \cdot BS = M_f. \quad (6.8)$$

Этот момент трения является уравнивающим силовым фактором, обеспечивающим определенность движения. Момент трения во вращательной паре  $B$  определяется по формуле  $M_f = R_{02} f \rho$ . Здесь  $f$  - коэффициент трения,  $\rho$  - радиус цапфы. Радиус цапфы  $\rho = M_f / R_{02} f = BS / f$  окажется слишком большим. Более рациональным является механизм, создающий уравнивающую силу трения  $F_{bf}$  на одном из выходных звеньев, например, на звене 3 (рисунок 6.2). Силу трения  $F_{bf} = Gf$  создает сила тяжести груза  $G$ , который прижимает звено 3 к звену 1 при скольжении звена 3 по звену 1 с относительной скоростью  $V_{31} = V_3 - V_1$ . Можно использовать натяжной винт, создающий усилие прижатия, вместо груза  $G$ . Сила трения  $F_{bf}$  создает относительно точки  $B$  уравнивающий момент трения  $M_{bf} = F_{bf} \cdot BC$ , заменяющий момент  $M_f$ . Из равенства этих моментов  $M_{bf} = M_f$  получим  $Gf \cdot BC = R_{02} \cdot BS$ . Отсюда получим требуемую для уравнивания силу прижатия

$$G = R_{02} \cdot BS / f \cdot BC. \quad (6.9)$$

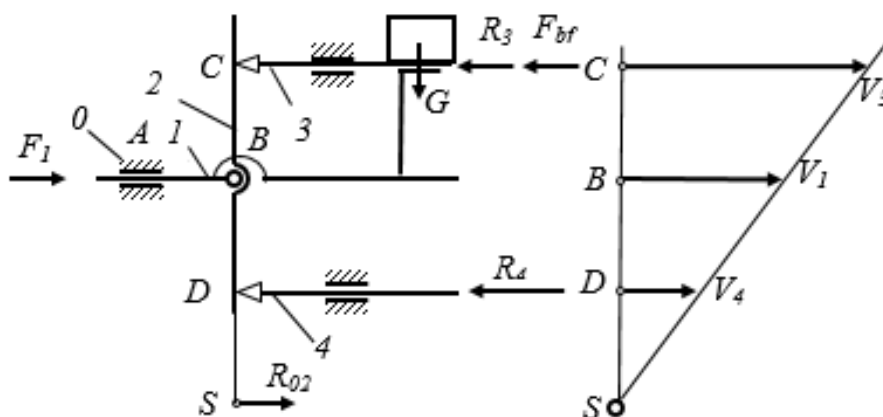


Рисунок 6.2 - Рычажный уравновешенный двухподвижный механизм

Из условия равенства моментов  $M_{bf} = M_f$  получим также  $F_{bf} \cdot BC = R_{02} \cdot BS$ .  
Отсюда

$$F_{bf} = R_{02} \cdot BS / BC. \quad (6.10)$$

Из уравнения (6.5) получим

$$BS = \frac{R_4 - R_3}{R_3 + R_4 - F_1} BC. \quad (6.11)$$

После подстановки этого значения в уравнение (6.10) получим уравновешивающую силу трения

$$F_{bf} = R_4 - R_3. \quad (6.12)$$

Уравновешивающий момент трения

$$M_{bf} = (R_4 - R_3) \cdot BC. \quad (6.13)$$

Проанализируем взаимодействие параметров механизма.

При равенстве сил сопротивления  $R_3 = R_4$  получим из (6.13)  $M_{bf \min} = 0$ .

Механизм перейдет в состояние с одной степенью свободы. Следовательно, для сохранения двух степеней свободы необходимо выбирать силы сопротивления, выполняя условие

$$R_3 \neq R_4. \quad (6.14)$$

Если одна из сил сопротивления равна нулю, то звено с действующей силой сопротивления окажется неподвижным. Механизм перейдет в состояние с одной степенью свободы. Для сохранения двух степеней свободы необходимо выполнить условия  $R_3 > 0, R_4 > 0$ .

Если в уравнении (6.11) окажется  $R_3 + R_4 - F_1 = 0$ , то  $BS = \infty$ . Это означает отсутствие вращательного движения звена 2, так как  $\omega_2 = V_1 / BS = 0$ . Механизм переходит в состояние, обладающее одной степенью свободы. Чтобы сохранить две степени свободы, необходимо выполнить условие или.

Из этого условия следует, что для сохранения двух степеней свободы необходимо определить входную движущую силу от сил сопротивления, заданных с помощью условия.

$$0 < F_1 < R_3 + R_4. \quad (6.15)$$



Максимальный уравновешивающий момент трения  $M_{bf \max} = R_4 \cdot BC$  будет иметь место при равенстве нулю одной из сил сопротивления (например,  $R_3 = 0$ ). Тогда сила сопротивления  $R_4$  остановит точку приложения  $D$  и обеспечит  $V_4 = 0$ . В этом случае точка  $S$  совпадет с точкой  $D$  ( $BS = BD = BC$ ) и согласно формуле (6.9) максимальная сила тяжести будет иметь место

$$G_{\max} = (R_4 - F_1) / f. \quad (6.16)$$

Следует учесть, что реактивная сила трения в точке контакта звеньев 3 и 1, действующая на звено 1, позволит уменьшить движущую силу  $F_1$  на соответствующую величину.

Важно, что уравновешивающая сила трения не является активной силой (это пассивная сила реакции связи), а пассивные силы не входят в уравнение равновесия по принципу виртуальных работ. Поэтому сила трения используется только для выполнения определенности движения.

Наличие уравновешивающего фрикционного момента  $M_{bf} = F_{bf} \cdot BC$  вызовет некоторое снижение КПД.

Коэффициент потерь на трение от силы  $F_f$

$$\varepsilon = F_{bf} V_{31} / F_1 V_1 = (R_4 - R_3) \cdot BS \cdot V_{31} / BC \cdot F_1 V_1 = \frac{BS}{BC} \frac{V_3 - V_1}{F_1 V_1} (R_4 - R_3). \quad (6.17)$$

Коэффициент полезного действия

$$\eta = 1 - \varepsilon. \quad (6.18)$$

При  $R_3 = R_4$  получим  $\eta = 1$ . То есть при равенстве движущей силы и сил сопротивления механизм становится одноподвижным, и потери на трение отсутствуют.

При  $V_4 = 0$   $V_{31} = 2V_1$   $BS = BC$   $R_4 = R_{4\max}$   $R_3 \rightarrow 0$  получим  $\eta_{\min} = 1 - \frac{2R_{4\max}}{F_1}$ .

Если  $R_{4\max} = 0.5F_1$ , то  $\eta_{\min} = 0$ . Таким образом, получим эффективное уравнение взаимосвязи сил  $R_3 < R_4 < 0.5F_1$ .

## 6.2 Рычажный двух подвижный механизм с замкнутым контуром

На двух подвижных рычагах (рис. 6.3) и одном выходном звене имеется опора 0, входное звено 1, промежуточные звенья 2, 3, 4, 5 и выходное звено 6. Звенья образуют подвижный замкнутый цикл 2, 3, 5, 4. Справа от механизма находится план линейных скоростей звеньев механизма. - Центр скоростей звеньев 2 и 5, - угловые скорости звеньев 2 и 5. На механизм действуют внешние силы: - входная движущая сила, - выходная сила сопротивления.

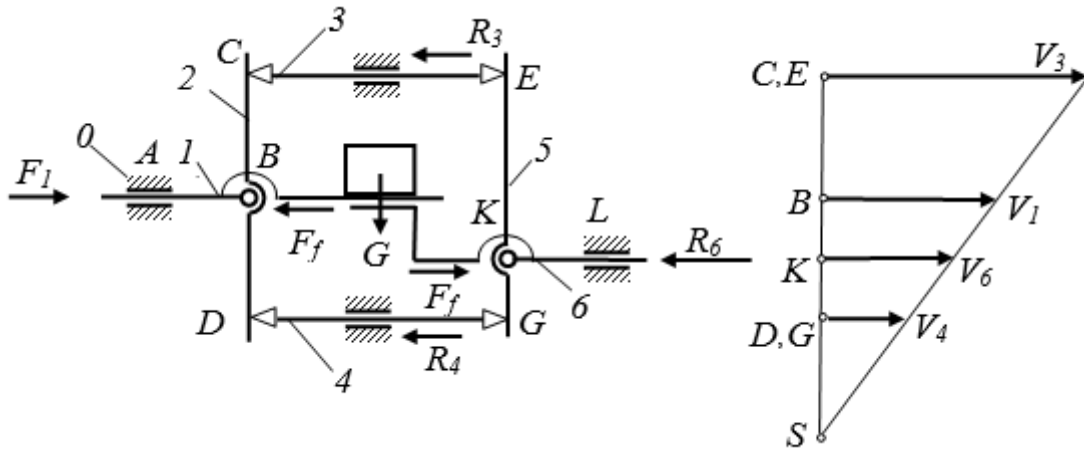


Рисунок 6.3 - Рычажный двух подвижный механизм с замкнутым контуром

Условие равновесия механизма по принципу возможных работ

$$F_1 V_1 - R_6 V_6 = 0. \quad (6.19)$$

Равновесие звена 5 механизма по принципу возможных работ должно учитывать также и реакцию  $R_{05} = R_6 - F_1$  в точке  $S$ . Для этого будем использовать уравнение равновесия звена 5  $\sum M_K = 0$

$$R_{05} \cdot KS - F_1 \cdot KB = 0. \quad (6.20)$$

Заменим момент реакции уравнивающим моментом трения, создаваемым силой трения  $F_f$ , которую создает сила прижатия или сила тяжести груза  $G$  при скольжении звена 1 по звену 6 с относительной скоростью  $V_{16} = V_1 - V_6$ .

$$Gf \cdot KB' = R_{05} \cdot KS. \quad (6.21)$$

Более рациональным является механизм, создающий уравнивающую силу трения  $F_f$  на входном звене 1.

Коэффициент потерь на трение от силы  $F_f$

$$\varepsilon = F_f V_{16} / F_1 V_1 = R_{05} \cdot KS \cdot V_{16} / KB \cdot F_1 V_1 = \frac{KS}{KB} \frac{V_{16}}{V_1} (R_6 - F_1) / F_1. \quad (6.22)$$

### 6.3 Двух подвижный зубчатый дифференциальный механизм

Зубчатый механизм с двумя подвижными колесами (рисунок 6.4) имеет опору 0, входной транспортер, спутник 2 и выходные центральные колеса 3 и 1. На правой стороне механизма показан план линейных скоростей звеньев

механизма . - 2-мгновенный центр скоростей звена, - 2-угловая скорость звена (косая линия).

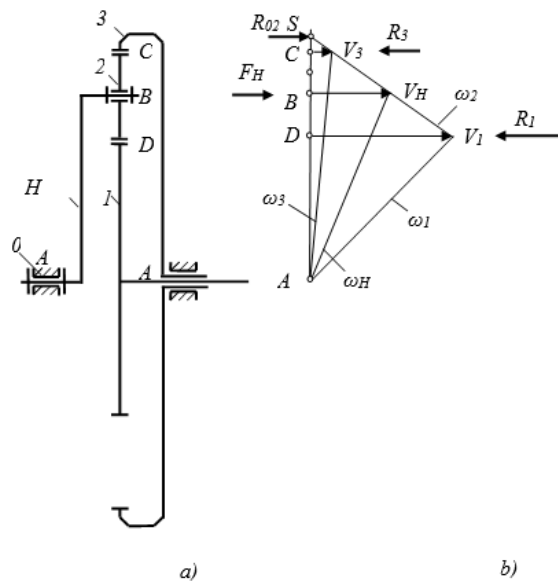


Рисунок 6.4 - Двухподвижный зубчатый дифференциальный механизм

На механизм действуют внешние моменты и силы:  $F_H$  – входная движущая сила,  $R_3, R_1$  – выходные силы сопротивления.  $F_H = M_H / r_H$ ,  $R_3 = M_3 / r_3$ ,  $R_1 = M_1 / r_1$ , где  $M_i$ ,  $i = H, 1, 3$  – моменты сил,  $r_i$ ,  $i = H, 1, 3$  – радиусы звеньев.

Сформулируем условие равновесия механизма в виде условия равновесия для звена 2 по принципу возможных работ (емкостей).

$$F_H V_H - R_3 V_3 - R_1 V_1 = 0. \quad (6.23)$$

Здесь

$$F_H = R_{H2}, R_3 = R_{32}, R_1 = R_{12}.$$

Уравнение (6.23) соответствует уравнению равновесия звена 2 в виде суммы моментов относительно центра мгновенной скорости

$$F_H \cdot SB - R_3 \cdot SC - R_1 \cdot SD = 0. \quad (6.24)$$

Для равновесия звена 2 и всего механизма также должно быть использовано условие, при котором силы, имеющие реакцию в заданной точке  $S$ , равны нулю.

$$R_{02} = R_3 + R_1 - F_H. \quad (6.25)$$

Для уравнивания будем использовать условие равенства нулю моментов сил звена 2 относительно точки  $B$

$$R_{02} \cdot BS - R_3 \cdot BC + R_1 \cdot BD = 0. \quad (6.26)$$

2 Заменяем момент реакции моментом трения во вращательной паре  $B$  звена

$$R_{02} \cdot BS = M_f. \quad (6.27)$$

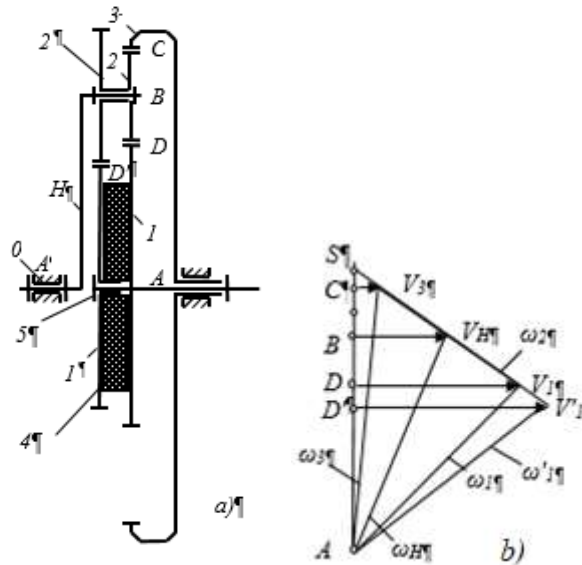


Рисунок 6.5 - Зубчатый дифференциал с уравнивающим моментом трения

Рациональным является механизм, создающий уравнивающий момент трения  $M_{f1}$  на одном из выходных звеньев, например, на звене 1 (рисунок 6.5).

Момент трения  $M_{f1} = Nfr$  ( $r$  - средний радиус фрикционного диска 4) создает сила  $N$ , с помощью натяжного винта 5, обеспечивающего прижатие колеса 1' к колесу 1 через фрикционный диск 4. Колесо 1' перемещается относительно колеса 1 с относительной угловой скоростью  $\Delta\omega_1 = \omega'_1 - \omega_1$ . Момент трения  $M_{f1}$  создает на сателлите 2 относительно точки  $B$  момент трения  $M_{f2} = M_{f1}u_{12}^{(H)}$ , заменяющий момент  $M_f$  (Здесь  $u_{12}^{(H)} = z'_2 / z_1$  - передаточное отношение). Из равенства этих моментов получим  $Nfru_{12}^{(H)} = R_{02} \cdot BS$ . Отсюда получим требуемую для уравнивания силу натяжения

$$N = R_{02} \cdot BS / fru_{12}^{(H)}. \quad (6.28)$$

Коэффициент потерь на трение от силы  $F_f$

$$\varepsilon = F_f \Delta V_3 / F_1 V_1 = R_{02} \cdot BS \cdot \Delta V_3 / BC \cdot F_1 V_1 = \frac{BS}{BC} \frac{\Delta V_3}{V_1} (R_3 + R_4 - F_1) / F_1. \quad (6.29)$$

#### 6.4 Зубчатый двух подвижный механизм с замкнутым контуром

Сбалансированный двухскатный передаточный механизм с замкнутой цепью (рисунок 6.6), опора 0, замкнутый контур зубчатого колеса 1-2-3-6-5-4 и выходной носитель.

Уравновешивание механизма и его определенность создает фрикционный диск 7, размещенный между колесами 1 и 1', вращающимися с разными угловыми скоростями.

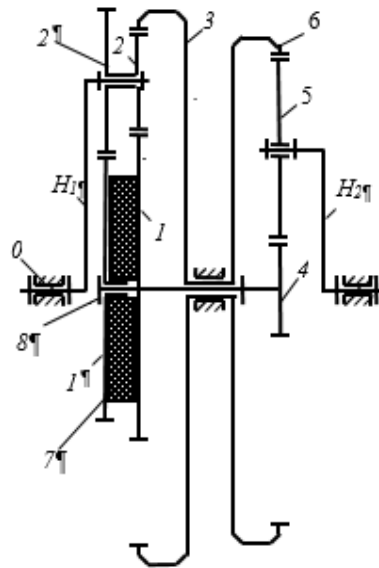


Рисунок 6.6 - Уравновешенный двух подвижный зубчатый механизм с замкнутым контуром

Возможный принцип работы не является необходимым и достаточным условием равновесия для двух движущихся механизмов.

Двух подвижный механизм является статически неопределимым, так как реальная опорная точка в мгновенном центре скоростей одного из звеньев отсутствует. Если статическая определенность создана уравновешенными по условиям статики силами, то механизм теряет одну степень свободы. Использование внутренней силы трения позволяет обеспечить функциональную сущность двух подвижного механизма.

Эффективность предложенного способа создания определенных двухподвижных механизмов состоит в следующем. Положительный эффект, обеспечивающий функциональность механизма (две степени свободы), создает сумма внешних сил (движущей силы и силы сопротивления). Отрицательный эффект, связанный с потерями на трение, обеспечивающий определенность движения, создает разность внешних сил.

Результаты исследований могут быть использованы для создания эффективных двух подвижных механизмов и адаптивных зубчатых вариаторов [36].

## **Заключение**

В общем случае кинематическая цепь с двумя степенями свободы не может быть статически определяемой системой при постоянном движении. Построение статического определения двух движущихся кинематических цепей путем выбора значений действующих сил приводит к потере одной степени свободы.

Проведен анализ связи между параметрами двух движущихся систем и установлены теоретические зависимости, обеспечивающие детектирование движения. Две системы движения (двигатель) с одним входом статически определяются при наличии одной силы сопротивления, связанной со временем.

Применение гидравлической катаракты в системах с двумя степенями свободы позволяет создавать статически определяемые эффективные механизмы (адаптивные механизмы), обладающие свойством приспосабливаться к переменным внешним нагрузкам.

Разработана общая теория механизмов саморегуляции.

Созданная ранее теория адаптации двух движущихся механизмов к силе дополнена принципиально новыми законами теории механизмов саморегуляции, обеспечивающей детектирование движения, упрощая схемы механизмов.

Результаты исследования могут быть использованы для теоретического изучения двух движущихся механизмов и практического применения их при создании эффективных новых конструкций, например, вариаторов адаптивной трансмиссии.

## Список литературы

- 1 Безняков А.М., Власов В.А., Маленин Е.Н. Построение Роботизированной системы ориентации солнечной батареи для малого космического аппарата. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург
- 2 Иванов К.С. Передача с автоматически регулируемой скоростью. Предварительный патент республики Казахстан № 3208 от 15.03.1996.
- 3 Иванов К.С., Ярославцева Е.К. Способ автоматического и непрерывного изменения крутящего момента и скорости вращения выходного вала в зависимости от сопротивления движению и устройство для его осуществления. Патент России RU № 2398989. 10.09.2010. 10 с.
- 4 Иванов К.С. Теоретические основы зубчатой бесступенчато регулируемой передачи. //Теория механизмов и машин. Периодический научно-методический журнал. №2 (16). 2010. Том 8. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. С. 36 – 48.
- 5 Иванов К.С. Теорема о равновесии замкнутого контура. //Теория механизмов и машин. Периодический научно-методический журнал. №2 (16). 2010. Том 8. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. С. 85 – 89.
- 6 Иванов К.С. Зубчатые вариаторы. Теория, анализ, синтез, коробки передач, приводы. Монография. Раритет. Алматы. 2015. 100 с. (старый 12)
- 7 Левитский Н.И. Теория механизмов и машин. Москва. Наука. 1979. 576 с.
- 8 Маркеев А.П. Теоретическая механика. Москва. Наука. 1990. 416 с.
- 9 Мельников В.Н. Управление ориентацией космического аппарата (обзор). Москва. 2011
- 10 Петрусёв А.С., Сарсикеев Е.Ж., Ляпунов Д.Ю. Разработка технических средств повышения эффективности солнечных установок. Вестник науки Сибири. 2015. Спецвыпуск (15). Томский политехнический университет. С. 77-82.
- 11 Crockett Samuel J. Shiftless, continuously-aligning transmission. Patent of USA 4,932,928, Cl. F16H 47/08, U.S. Cl. 475/51; 475/47.1990, 9 p.
- 12 Harries John. Power transmission system comprising two sets of epicyclic gears. Patent of Great Britain GB2238090 (A). 1991, 11 p.
- 13 Ivanov K.S. Theory of Continuously Variable Transmission (CVT) with Two Degrees of Freedom. Paradox of mechanics. Proceedings of the American Society of Engineers Mechanics (ASME) International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE 2012). Houston, Texas, USA. 2012. PP 933 - 942. (старый 7)
- 14 Ivanov Konstantin. Optimal Design of Adaptive Toothed Variator (CVT). EngOpt 2018, Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Engineering Optimization. Springer. Lisbon. 2018. PP 1178-1192.



- 15 Ivanov K. S. To the Discovery «Effect of Force Adaptation» 20-th Anniversary. Proceedings of 2015 IFToMM Workshop on History of Mechanism and Machine Science. May 26-28, 2015, St-Petersburg, Russia. PP 126 – 135.
- 16 Ivanov K.S. Toothed variators. Theory, analysis, synthesis, gear boxes, drives. Monograph. Raritet. Almaty. 2015. 89 p.
- 17 Ivanov K.S. Self-Adjusting Motor-Wheel with CVT. - International Journal of Engineering and Innovanive Technology (IJEIT). Volume 2, Issue 4. Florida. USA. 2012. - PP189 – 195.
- 18 Ivanov K.S. Synthesis of Toothed Continuously Variable Transmission (CVT). - Mechanism, Transmissions and Applications. Mechanism and Machine Science 3. Springer. ISSN 2211-0992. 2012. - P. 265 – 272.
- 19 Ivanov K.S. To the Discovery “Effect of Force Adaptation” 20-th Anniversary. Transactions of 14th Working Meeting IFTOMM Permanent Comission for the History of Mechanism and Machine Science (Workshop HMMS-2015). Seint-Petsrberg. RF. 2015. PP. 1015 – 1024.
- 20 Ivanov K.S., Balbaev G.K., Ceccarely M. Experimental Testing of an Adaptive Gearbox. Bulletin of Almaty university of power engineering and communication. No2 (25). Almaty. 2014. PP 60-65.
- 21 Ivanov K.S., Dinasylov A.D., Yaroslavseva E.K. Adaptive-Mechanical Continuously Variable Transmission. Mechanism and Machine Science. Vol. 17. New Advances in Mechanics, Transmissions and Applications. Proceedings of the Second Conference MeTrApp 2013. Springer. 2013. PP 83 – 90.
- 22 Ivanov K.S., Djoldasbecov S.U., Jomartov A.A., Temirbekov Y.S. Functional Properties of Stepless Gear Adaptive Transmissions. International scientific journal “Problems of Mechanics”. International Federation for Promotion of Mechanism and Machine Science. Tbilisi. Georgia. 2013. PP 13 – 20.
- 23 Ivanov K.S., Knol O.A., Shingissov B.T. Mechanical Adaptive Drive of Wind Turbine Generator. Proceedings of International Conference on Innovative Technologies. IN-TECH 2013. World Association of Innovative Technologies. Budapest. Hungary. 2013. PP 245-248.
- 24 Ivanov K.S., Koilibaeva R.K., Dinasilov A.D. Electric Car with Adaptive Motor Wheels. Proceeding of 8-th International Symphosium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering (KOD 2014). University Novi Sad. Serbia, Bratislava, Slovakia, Hungary. 2014. PP 59 – 64.
- 25 Ivanov K.S., Koilibaeva R.K., Ualiev G.U., Tultaev B.T. Creation of vibration gear continuously variable transmission (CVT) with one degree of freedom. 8th European Nonlinear Dynamics Conference (ENOC 2014). Book of Abstracts. Vienna. Austria. 2014. P. 340.
- 26 Ivanov K.S., Koilibaeva R.K., Ualiev G.U., Tultaev B.T. Synthesis of Vibration Gear Continuously Variable Transfer. VETOMACX 2014. Manchester. UK. 2014. P.
- 27 Ivanov K.S., Koilybayeva R.K., Ualiev G.U. Creation of Vibration Gear Continuously Variable Transmission (CVT). 11th International Conference on Vibration Problems (ICOVP 2013). Book of Abstracts. Lisbon. Portugal. 2013. P 91.

28 Ivanov K.S., Tultaev B. Toothed continuously variable transmission (CVT) – industrial realization. - New Trends in Mechanism and Machine Science. Theory and Applications in Engineering. Mechanism and Machine Science. V. 7. Springer. ISSN 2211-0984. 2013. - PP 329-335.

29 Ivanov K.S., Tultaev B., Ualiev G. Dynamic Synthesis of Adaptive-Mechanical CVT. - Key Engineering Materials (KEM -2013). Vol. 572. Nottingham. UK. 2013. - PP 405-412.

30 Ivanov K.S., Ualiev G., Tultaev B. Dynamic Synthesis of Adaptive Drive of Manipulator. 3rd IFToMM International Symposium on Robotics and Mechatronics (ISRM 2013). Singapore. 2013. PP 191 - 200.

31 Ivanov K.S., Ualiev G., Tultaev B. Kinematic and Force Analysis of Robot with Adaptive Electric Drives. Applied Mechanics and Materials. Vol. 555 (2014). OPTIROB 2014. Springer. Switzerland. 2014. PP 273 - 280.

32 Ivanov K.S., Ualiev G., Ualiev Z. Dynamics of adaptive-mechanical CVT (gear variator). OPTIROB 2013. Applied Mechanics and Materials. Vol 332 (2013). Springer. Switzerland. 2013. PP 289-296.

33 Ivanov K.S., Yaroslavseva E.K. Transfer of Motion by Closed Contour: Basis of CVT. Mechanism and Machine Science. Vol. 13. Power Transmissions. Springer. 2013. PP 321 - 333.

34 Ivanov K.S., Zhilisbaeva K. Paradox in the Mechanism Science. Mechanisms and Machine Science 19. Juan Carlos Garcia-Prada, Cristina Castejon – Editors. New Trends in Educational Activity in the Field of Mechanism and Machine Theory. 2013. Springer. P. 129-136.

35 Ivanov K.S., Zhilisbaeva K.S. Paradox in the Mechanism Science. - 1-st International Symposium on the Education in Mechanism and Machine Science. June, 13&14.2013. Madrid. Spain. - P. 132-138.

36 Konstantin S. Ivanov, Almaty, KZ. – Gebrauchsmusterinhaber. Bezeichnung - Einrichtung zur automatischen und kontinuierlichen Drehmoment – und Drehzahlveränderung einer Abtriebswelle je nach Fahrwiderstand. Urkunde über die Eintragung des Gebrauchsmusters Nr. 20 2012 101 273.1. Tag der Eintragung 02.05.2012. Deutsches Patent und Markenamt. Bundesrepublik Deutschland. 2012.

37 Ivanov K.S. Prospects of Creation of Mechanisms with Two Degree of Freedom. Almaty University of Power Engineering and Telecommunication, Almaty 050013, RK. ivanovgreek@mail.ru

38 Nadaraia C.G., Shestakov I.Ja., Fadeev A.A., Vinogradov K.N., Mikhalev D.V. « IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF POWER SYSTEM SUPPLY OF THE PERSPECTIVE SPACE VEHICLES»

39 Sheptalin D., Gecha V. «Drive of the solar battery of the space vehicle»