**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего образования**

**Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»**

**(ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»)**

**Исследование различных методов наведения на цель для использования в роботе-сборщике космического мусора**

Статья

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Выполнил ст. магистратуры: |  | Старков Виталий Юрьевич |

Москва

2020

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc45885200)

[Методы наведения на цель 6](#_Toc45885201)

[Метод прямого наведения 8](#_Toc45885202)

[Метод наведения по кривой погони 10](#_Toc45885203)

[Метод наведения с последовательным упреждением 12](#_Toc45885204)

[Локаторы 15](#_Toc45885205)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 17](#_Toc45885206)

[СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 18](#_Toc45885207)

# ВВЕДЕНИЕ

Опасность засорения космического пространства в настоящее время крайне велика. Из-за огромного количества, такие техногенные объекты представляют опасность для космических аппаратов на орбите, в первую очередь для МКС. Станции многократно приходилось уворачиваться от обломков. С помощью специальной аппаратуры космонавты регулярно ведут поиск каких-либо пробоин. Для того, чтобы автоматизировать работу космонавтов и уменьшить риски необходимое новое решение – создание автономного космического робота-сборщика космического мусора. Такой робот должен путешествовать по комическому пространству и искать нежелательные техногенные объекты, иначе называемые космическим мусором, а в дальнейшем его утилизировать. Важной задачей в разработке такого робота является навигационная составляющая. Именно о ней пойдет речь в данной статье.

В космических роботах используется так называемая инерциальная навигация. Инерциальная навигация — метод навигации и управления их движением, основанный на свойствах инерции тел, являющийся автономным, то есть не требующим наличия внешних ориентиров или поступающих извне сигналов. Неавтономные методы решения задач навигации основываются на использовании внешних ориентиров или сигналов (например, звёзд, маяков, радиосигналов и т. п.). Эти методы в принципе достаточно просты, но в ряде случаев не могут быть реализованы из–за отсутствия видимости или наличия помех для радиосигналов и т. п.

Сущность инерциальной навигации состоит в определении ускорения объекта и его угловых скоростей с помощью установленных на движущемся объекте приборов и устройств, а по этим данным — местоположения (координат) этого объекта, его курса, скорости, пройденного пути и др., а также в определении параметров, необходимых для стабилизации объекта и автоматического управления его движением [1]. Это осуществляется с помощью:

1. датчиков линейного ускорения (акселерометров);

2. гироскопических устройств, воспроизводящих на объекте систему отсчёта (например, с помощью гиростабилизированной платформы) и позволяющих определять углы поворота и наклона объекта, используемые для его стабилизации и управления движением.

3. вычислительных устройств (ЭВМ), которые по ускорениям (путём их интегрирования) находят скорость объекта, его координаты и др. параметры движения;

Преимущества методов инерциальной навигации состоят в автономности, помехозащищённости и возможности полной автоматизации всех процессов навигации. Благодаря этому методы инерциальной навигации получают всё более широкое применение при решении проблем навигации надводных, подводных и воздушных судов, космических судов и аппаратов и других движущихся объектов.

Инерциальные навигационные системы (ИНС) имеют в своём составе датчики линейного ускорения (акселерометры) и угловой скорости (гироскопы или пары акселерометров, измеряющих центробежное ускорение). Алгоритмически ИНС состоит из курсовертикали и системы определения координат. Курсовертикаль обеспечивает возможность определения ориентации в географической системе координат, что позволяет правильно определить положение объекта. При этом в неё постоянно должны поступать данные о положении объекта. Однако технически система, как правило, не разделяется и акселерометры, например, могут использоваться при выставке курсовертикальной части. Инерциальные навигационные системы делятся на имеющие гиростабилизированную платформу платформенные (ПИНС) и бесплатформенные (БИНС). В платформенных ИНС взаимосвязь блока измерителей ускорений и гироскопических устройств, обеспечивающих ориентацию акселерометров в пространстве, определяет тип инерциальной системы. Известны три основных типа платформенных инерциальных систем.

1. Инерциальная система геометрического типа имеет две платформы. Одна платформа с гироскопами ориентирована и стабилизирована в инерциальном пространстве, а вторая с акселерометрами — относительно плоскости горизонта. Координаты объекта определяются в вычислителе с использованием данных о взаимном расположении платформ. Обладает высокой точностью позиционирования относительно поверхности планеты (например, Земли), но неудовлетворительно работает на высокоманевренных аппаратах и в космическом пространстве.
2. В инерциальных системах аналитического типа и акселерометры, и гироскопы неподвижны в инерциальном пространстве (относительно сколь угодно далёких звёзд или галактик). Координаты объекта получаются в вычислителе, обрабатывающем сигналы, поступающие с акселерометров и устройств–определителей поворота самого объекта относительно гироскопов и акселерометров.
3. Полуаналитическая система имеет платформу, которая непрерывно стабилизируется по местному горизонту. На платформе имеются гироскопы и акселерометры. Координаты определяются в вычислителе, расположенном вне платформы. В БИНС акселерометры и гироскопы жестко связаны с корпусом прибора. Передовой технологией в производстве БИНС является технология волоконно–оптических гироскопов (ВОГ), принцип действия которых основан на эффекте Саньяка. БИНС на базе таких гироскопов не имеет подвижных частей, абсолютно бесшумна, механически сравнительно прочна, не требует специального обслуживания, имеет хорошие показатели наработки на отказ (до 80 тыс. часов у некоторых моделей) и малое энергопотребление (десятки Ватт).

**Методы наведения на цель**

Основной задачей системы самонаведения считают перехват цели с минимальным промахом. Поскольку робот управляемый и есть возможность изменять траекторию его полета сразу же после пуска, то в принципе возможно бесчисленное множество траекторий, при движении по которым робот достигнет цели.

Поэтому независимо от принципа управления и его технического осуществления в основу работы системы самонаведения должно быть положено некоторое условие, определенная закономерность, выполняя которую система самонаведения осуществит наведение робота на цель.

Условие, положенное в основу работы системы самонаведения, называется методом наведения. Метод наведения определяет теоретическую траекторию робота в космосе.

Выбранный метод наведения осуществляется, как правило, с помощью счетно–решающего прибора (СРП), который получает информацию об относительном положении робота и цели, о скоростях и направлении их движения. На основании этой информации СРП вычисляет желаемую траекторию его движения и наивыгоднейшую точку встречи ее с целью. Результат вычислений преобразуется в управляющие команды. Информация, поступающая в СРП в виде напряжений, содержит в простейшем случае значения углов. Однако в большинстве случаев эти данные дополняются сведениями об угловых скоростях и о дальностях. Вычислительные операции, производимые счетно–решающим прибором, различны для различных методов наведения при одинаковом начальном положении робота и цели. При различных методах наведения будут отличаться друг от друга и траектории наведения. Существует несколько методов наведения на цель, каждому из которых свойственна своя, характерная для него траектория полета. Любая траектория полета с допустимыми погрешностями может быть записана математически. [2]

Основные методы наведения на движущуюся цель следующие.

1. Метод прямого наведения.

2. Наведение по кривой погони.

3. Метод наведения с последовательным (непрерывным) упреждением.

### **Метод прямого наведения**

Сущность метода прямого наведения состоит в том, что в процессе наведения продольная ось робота непрерывно направлена на цель. В этом случае координатор цели устанавливается на роботе неподвижно, оси робота и координатора совпадают. Угол рассогласования есть угол между продольной осью робота и направлением на цель. Если ось робота направлена на цель, угол рассогласования равен нулю ().

Поскольку цель движется, то робот должен поворачиваться за целью, и ее траектория искривляется. Для изменения направления полета автономного робота к нему должна быть приложена управляющая сила (рис. 1).

Рис. 1. Метод прямого наведения

Для создания управляющей силы необходим угол атаки (угол между продольной осью робота и вектором скорости ). Из рисунка видно, что вектор скорости не совпадает с направлением робот — цель, т. е. направление движения робота отстает от направления робота — цель. При изменении направления движения цели вектор скорости при таком методе наведения во всех случаях будет отставать от направления робот — цель на угол . Следовательно, робот не только не пойдет наперерез цели, но будет все время направлен в некоторую точку позади цели. Кроме того, при использовании метода прямого наведения движение робота происходит по сильно искривленной траектории. Метод прямого наведения может быть успешно применен только для наведения робота на неподвижную цель, или на цель, скорость которой во много раз меньше скорости робота. При этом необходимо, чтобы угол атаки был минимальным, т. е. чтобы направление продольной оси робота как можно точнее совпадало с направлением вектора скорости робота.


### **Метод наведения по кривой погони**

Метод наведения по кривой погонитакже является простейшим методом наведения. Характерным для этого метода является то, что вектор скорости робота в каждый момент времени точно совпадает с направлением на цель. Боковой снос и угол атаки при таком методе учитываются и не уменьшают точности наведения. Метод основан на поддержании равенства нулю угла упреждения (угол между вектором скорости робота и направлением робот — цель, рис. 2). Следовательно, для наведения по кривой погони аппаратура управления должна измерять угол и вырабатывать команды в соответствии с величиной и знаком этого угла. Направление робот — цель при самонаведении определяется весьма просто, так как самонаведение как раз и основано на использовании энергии, идущей от цели по этому направлению. Направление на цель определяется координатором, установленным на роботе.

Рис. 2. К расчету угла упреждения:

 упрежденная точка встречи; угол упреждения; курсовой угол

Для того чтобы самонаводящаяся роботлетел все время в направлении на цель, нужно, чтобы ось координатора была совмещена с вектором скорости. Этого можно достигнуть, если координатор на роботе разворачивать все время по воздушному потоку, т. е. совмещать с направлением скорости.

Робот, наводящийся по методу погони на цель, независимо от своего положения относительно цели в момент пуска всегда стремится выйти на одно и то же направление — строго в хвост цели. Траектория полета робота при этом искривлена и имеет наибольшую кривизну в районе цели. Чем больше искривлена траектория, по которой должен лететь робот, тем большая управляющая сила потребуется для его поворота. А так как величина управляющей силы ограничена и не может быть достаточно большой, то, следовательно, больше будет промах робота.

### **Метод наведения с последовательным упреждением**

Методом наведения с последовательным (непрерывным) упреждением называется такой метод, при котором в любой момент времени вектор скорости робота направлен в упрежденную точку встречи соответствующую данному моменту времени. Этот метод также предусматривает полет робота в упрежденную точку встречи, но угол упреждения в процессе полета робота будет автоматически изменяться в зависимости от маневра цели. Для того чтобы робот наводился в упрежденную точку встречи с целью при любых маневрах последней, необходимо менять угол упреждения . Для этого необходимо счетно–решающий прибор установить на роботе. Будем считать, что в формуле угла упреждения:

где величины и непрерывно меняются, что соответствует маневру цели по скорости и направлению. Очевидно, непрерывно будет меняться и необходимый угол упреждения, принимая в каждый момент времени какое–то значение. Из формулы угла упреждения легко получить равенство:

Если в процессе наведения робота непрерывно будет выполняться записанное равенство (даже при изменении скорости и направления движения цели), то угол упреждения в каждый момент времени окажется равным потребному мгновенному значению.

Левая часть равенства — не что иное, как проекция вектора скорости робота на перпендикуляр к линии робот — цель (рис. 3), а правая — проекция вектора скорости цели на тот же перпендикуляр. Таким образом, для того чтобы угол упреждения в каждый момент времени был равен потребному значению угла упреждения (другими словами, чтобы вектор скорости робота в любой момент времени был направлен в мгновенную упрежденную точку), необходимо равенство проекций векторов на перпендикуляр к линии робот — цель. Но это означает, что в процессе наведения линия робот — цель перемещается параллельно своему первоначальному положению, не изменяя направления (не вращается) в пространстве. Ввиду этого такой метод еще называют *методом параллельного сближения*. В системах самонаведения такой метод обеспечивается установкой координатора на подвижной платформе (стабилизированной в пространстве с помощью свободного гироскопа), направление оси которой совпадает с направлением оси координатора. До пуска робота ось координатора совмещается с линией робот — цель (направляется на цель), составляя с осью робота угол, равный расчетному углу упреждения. Перед сходом робота с пусковой установки гироскоп разарретируется. Ось координатора, сохраняя неизменное положение в пространстве, будет перемещаться параллельно самой себе, образуя с направлением скорости некоторый постоянный угол упреждения.

Рис. 3. Метод наведения с последовательным упреждением

Если цель изменит скорость и направление движения, то сигнал с координатора, пропорциональный углу рассогласования, поступит в счетно–решающее устройство, которое вычислит новый угол упреждения, соответствующий данной скорости и направлению. Одновременно корректируется и положение стабилизированной гироскопом площадки с установленным на ней координатором. Со счетно–решающего устройства на рули робота подается сигнал, пропорциональный углу рассогласования, и робот поворачивается так, что наводится в мгновенную точку встречи. Угол в этот момент удовлетворяет заданному закону наведения. При маневрах цели робот тоже маневрирует, но крутизна его траектории и перегрузки обычно не превышают крутизну и перегрузки цели.


### **Локаторы**

Для того чтобы наводиться на цель таким роботам необходимо определять положение космического мусора на орбите. Для этого необходимо использовать локатор.

Локатор - искусственное устройство, которое предназначено для определения наличия, расстояния, направления или скорости объектов бесконтактным способом.

Сначала локатор излучает определённый вид энергии в сторону предполагаемого объекта, а затем по полученным сигналам (эхо) он получает информацию об объекте. [3]

Примеры локаторов:

* Лазерный дальномер
* Эхолот
* Радиолокационная станция

Рассмотрим лазерный дальномер. Лазерный дальномер – это прибор для измерения расстояний с применением лазерного луча. Их различают по принципу действия на импульсные (ИЛД) и фазовые (ФЛД).

ИЛД – это устройство, которое состоит из импульсного лазера и детектора излучения. Измеряя время, которое затрачивает луч на путь до отражателя и обратно, и зная значение скорости света, можно рассчитать расстояние между лазером и отражающим объектом. Импульсные лазерные дальномеры обладают достаточно большой дальностью работы.

Способность электромагнитного излучения распространяться с постоянной скоростью дает возможность определять дальность до объекта. Расстояние до объекта при импульсном методе можно рассчитать используя соотношение:

где расстояние до объекта, скорость света в вакууме, показатель преломления среды, в которой распространяется излучение, время прохождения импульса до цели и обратно [4].

ФЛД на малый промежуток времени включают подсветку объекта с разной модулированной частотой и по сдвигу фазы вычисляют расстояние до цели.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной статье были рассмотрены такие важные вопросы, как инерциальная навигация, три основных метода наведения на цель, локаторы и траекторное управление роботом в изменяющейся среде.

Сущность инерциальной навигации состоит в определении ускорения объекта и его угловых скоростей с помощью установленных на движущемся объекте приборов и устройств, а по этим данным — местоположения (координат) этого объекта, его курса, скорости, пройденного пути и др., а также в определении параметров, необходимых для стабилизации объекта и автоматического управления его движением. Приоритетнее использовать инерциальную систему аналитического типа, так как она лучше всего подходит для работы в космическом пространстве. В инерциальных системах аналитического типа и акселерометры, и гироскопы неподвижны в инерциальном пространстве (относительно сколь угодно далёких звёзд или галактик). Координаты объекта получаются в вычислителе, обрабатывающем сигналы, поступающие с акселерометров и устройств–определителей поворота самого объекта относительно гироскопов и акселерометров.

Что касается методов наведения на цель, то лучше всего подходит использовать метод наведения с последовательным упреждением. Это такой метод, при котором в любой момент времени вектор скорости робота направлен в упрежденную точку встречи соответствующую данному моменту времени. Это позволяет иметь небольшие несущие поверхности робота, сохраняя высокую точность наведения на цель.

В качестве локатора предлагается выбрать и импульсный лазерный дальномер, поскольку ИЛД обладает большой длительностью работы, т.к. импульс можно выдать с большой мощностью и повышенной скрытностью, включаясь только на время импульса и дальномер можно установить непосредственно на робота, что нельзя сделать с радиолокационной станцией.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструкция и особенности серебряно-цинковых аккумуляторов [Электронный ресурс] // <http://akbinfo.ru/shhelochnye/serebrjano-cinkovye-akkumuljatory.html>

Дата обращения: 11.07.2020

2. Методы наведения [Электронный ресурс] // <http://mash-xxl.info/article/411296/>

Дата обращения: 11.07.2020

3. Локатор [Электронный ресурс] // [https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Локатор](https://ru.m.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80)

Дата обращения: 13.07.2020

4. Лазерный дальномер [Электронный ресурс] // https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Лазерный дальномер

Дата обращения: 13.07.2020