**Наклонно-роторные самолеты**

Роторы наклона обрабатываются ArduPilot как особый тип QuadPlane. Вы должны начать с чтения [документации QuadPlane,](http://ardupilot.org/plane/docs/quadplane-support.html#quadplane-support) прежде чем переходить на эту документацию с наклоном-ротором.

В номенклатуре ArduPilot наклон-ротор представляет собой тип самолетов VTOL, где переход между наведением и прямым полетом осуществляется путем наклона одного или нескольких роторов, так что он обеспечивает прямое движение вместо направленной вверх тяги.

Это отличается от [тайлов,](http://ardupilot.org/plane/docs/guide-tailsitter.html" \l "guide-tailsitter) где автопилот и основной фюзеляж меняют ориентацию при перемещении между наклонным и передним полетом.

**Типы наклонных роторов**

ArduPilot поддерживает очень широкий диапазон конфигураций наклонных роторов. Общие конфигурации включают:

* наклонные квадранты с наклоном передних двух двигателей
* наклонные квадранты со всеми четырьмя опрокидываниями двигателей
* наклонные тритроны с передними двумя двигателями наклона и заднего наклона для рыскания
* наклонные тритроны с передними двумя двигателями наклона и векторной рысканья
* наклонные гексакоптеры с наклоном передних четырех двигателей
* наклонные крылья, где основное крыло наклоняется вместе с двумя двигателями
* бинарные-тильтроторы, где механизм наклона может находиться только в одном из двух положений
* непрерывные тильтроторы, где механизм наклона можно регулировать под любым углом в диапазоне от прямой до прямой
* векторных наклонных роторов, где наклон роторов слева может управляться независимо от наклона правильных двигателей

В сочетании с этими вариациями используются версии, которые используют элероны, элевоны, vtails и другие поверхности управления для полета с неподвижным крылом. Существует удивительное количество комбинаций, и экспериментирование с проектами VTOL является обычным явлением. ArduPilot стремится поддерживать очень широкий диапазон конфигураций наклонных роторов с небольшим количеством параметров.

**Настройка наклона-ротора**

Первое, что вам нужно сделать, это включить поддержку QuadPlane, установив Q\_ENABLE в 1, а затем выбрать правильный квадратный класс кадра и тип кадра.

Класс квадрантного фрейма находится в Q\_FRAME\_CLASS. Класс кадра выбирается в зависимости от конфигурации ротора вашего транспортного средства во время зависания. В настоящее время поддерживаются классы рамок наклона-ротора:

|  |  |
| --- | --- |
| **Класс кадра** | **Q\_FRAME\_CLASS** |
| Quadcopter | 1 |
| Hexacopter | 2 |
| Octacopter | 3 |
| Octaquad | 4 |
| Y6 | 5 |
| Tricopter | 7 |

После того, как вы выбрали свой класс кадров, вам нужно будет правильно получить Q\_FRAME\_TYPE. Q\_FRAME\_TYPE является подтипом фрейма. Например, для quadcopter тип кадра 1 предназначен для кадра «X», а тип кадра 3 - для кадра «H».

Дополнительную информацию о выборе типа фрейма см. В руководстве по настройке ArduCopter для мультикоттеров.

После настройки Q\_ENABLE, Q\_FRAME\_CLASS и Q\_FRAME\_TYPE вам нужно будет перезагрузить компьютер.

**Маска наклона**

Наиболее важным параметром для наклона-ротора является маска наклона в параметре Q\_TILT\_MASK.

Q\_TILT\_MASK - это битовая маска того, какие двигатели могут наклоняться на вашем автомобиле. Биты, которые необходимо включить, соответствуют порядку двигателя стандартной карты двигателя ArduCopter для выбранного вами класса кадра и типа кадра.

Например, если у вас есть наклон-трипер, где наклоняются передние два двигателя, вы должны установить Q\_TILT\_MASK на 3, что равно 2 + 1.

Если у вас есть наклон-квадрат, где все 4 двигателя наклоняются, вы должны установить Q\_TILT\_MASK на 15, что равно 8 + 4 + 2 + 1.

**Тип наклона**

Большинство наклонных роторов используют обычные сервоприводы для опрокидывания их роторов. Это позволяет автопилоту непрерывно регулировать угол наклона в диапазоне от прямой до прямой.

Некоторые наклонные роторы вместо этого имеют двоичный механизм, как правило, используя сервоприводы возврата, где автопилот может командовать сервоприводом в полностью или полностью прямое положение, но не может просить, чтобы наклон остановился под некоторым углом между ними.

Наконец, некоторые наклонные роторы имеют векторный контроль рыскания, где они могут управлять рысканием, наклоняя левые роторы независимо от правых роторов.

Вам нужно установить тип наклона, который вы используете, используя параметр Q\_TILT\_TYPE. Допустимые значения:

|  |  |
| --- | --- |
| **Тип наклона** | **Q\_TILT\_TYPE** |
| непрерывный | 0 |
| двоичный | 1 |
| с регулируемым вектором | 2 |

**Наклонные сервоприводы**

Затем вам нужно настроить, какие сервоусилители будут управлять наклоном наклоняемых роторов.

Вы контролируете это с помощью 3 возможных значений сервопривода.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **SERVOn\_FUNCTION** | **Стоимость** | **Стоимость** |
| 41 | Наклон двигателя |  |
| 75 | Наклон левого двигателя |  |
| 76 | Правый наклон двигателя |  |

Вы должны выбрать нормальный наклон двигателя, если вы не настроите векторный летательный аппарат, и установите Q\_TILT\_TYPE на 2.

Например, если у вас есть один сервопривод, который наклоняет ваши роторы, подключенные к серво выходу 11, тогда вы должны установить SERVO11\_FUNCTION = 41.

**Отклонение и диапазон наклона**

Вам необходимо будет установить параметр SERVOn\_REVERSED на сервоприводах наклона в соответствии с направлением ваших сервомоторов. Вы должны отрегулировать так, чтобы в режиме MANUAL роторы наклонялись вперед и в режиме QSTABILIZE они указывали прямо вверх.

Вам, вероятно, также потребуется настроить SERVOn\_MIN значения SERVOn\_MAX, чтобы отрегулировать диапазон движения и точный угол каждого сервопривода для прямого полета и наведения.

**Угол наклона**

Параметр Q\_TILT\_MAX управляет углом наклона во время переходов для автомобилей с непрерывным наклоном. Это угол в градусах, в который роторы будут двигаться, ожидая достижения скоростной воздушной скорости.

Правильное значение для Q\_TILT\_MAX зависит от того, сколько наклона вам необходимо для достижения достаточной воздушной скорости для крыльев, чтобы обеспечить большую часть лифта. Для большинства наклонных роторов значение по умолчанию составляет 45 градусов.

**Скорость наклона**

Критическим параметром для наклонных роторов является то, как быстро они перемещают сервоприводы наклона при переходе между наклонным и передним полетом.

Двумя параметрами, которые управляют скоростью наклона, являются:

* Q\_TILT\_RATE\_UP - скорость наклона вверх в градусах в секунду
* Q\_TILT\_RATE\_DN - скорость наклона вниз в градусах в секунду

Если Q\_TILT\_RATE\_DN равно нулю, то для обоих направлений используется Q\_TILT\_RATE\_UP.

Как быстро вы должны перемещать сервоприводы наклона, зависит от ряда факторов, особенно от того, насколько хорошо настроен ваш автомобиль для полета с несколькими роторами. В общем, рекомендуется сначала ошибаться на стороне медленных переходов для первоначального тестирования, а затем медленно ускорять его по мере необходимости.

Типичное значение должно составлять 15 градусов в секунду как вверх, так и вниз.

Обратите внимание, что в коде наклона-ротора ArduPilot есть некоторые автоматические исключения для скорости наклона:

* скорость наклона при переключении в режим MANUAL составляет 90 градусов в секунду. Это дает вам быстрый контроль вперед в случае необходимости использования режима MANUAL.
* после завершения прямого перехода двигатели будут покрывать любой оставшийся угол со скоростью 90 градусов в секунду.

**Векторное движение**

Векторный рысканник наклоняет левый и правый роторы отдельно, чтобы управлять рысканием в наведении. Это уменьшает механическую сложность в наклонных трикотажах, поскольку это позволяет избежать необходимости использования сервопривода наклона заднего мотора для управления рысканием.

Чтобы настроить векторный летательный аппарат, вам необходимо установить Q\_TILT\_TYPE = 2, а также установить Q\_TILT\_YAW\_ANGLE на угол в градусах, в котором двигатели наклона могут подниматься на 90 градусов.

Например, если у вас есть наклон-вертушка с векторным рысканием, и ваши двигатели могут наклоняться в общей сложности на 110 градусов от дальнего полета, то ваш Q\_TILT\_YAW\_ANGLE будет равен 20, так как это угол за 90 градусов, который может поворачивать механизм наклона ,

Вам также необходимо настроить два сервопривода наклона с SERVOn\_FUNCTION = 75 для левого наклона и SERVOn\_FUNCTION = 76 для правильного наклона.

**Предварительные проверки рейса**

В дополнение к обычным предполетным проверкам для квадранта, вы должны проверить свой переход наклон-ротор, изменив режимы MANUAL и QSTABILIZE на землю. Убедитесь, что ваш наклон движется плавно и что сервоприводы правильно отрегулированы для правильных углов ротора.