

# СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛЕТА ВЕРТОЛЕТА С ГРУЗОМ НА ВНЕШНЕЙ ПОДВЕСКЕ

*Пилотирование вертолета с грузом на внешней подвеске имеет ряд особенностей и является более сложным, чем при перевозке грузов внутри кабины, на что требуется быстрое реагирование на любое воздействие, а так же большой опыт пилота.*

## ВВЕДЕНИЕ

При удлинении тросов системы внешней подвески схема сил и моментов, действующих на вертолет меняется. Допустимый диапазон наклона несущего винта, а следовательно, и отклонения ручки управления будут значительно меньше, чем при более высоком расположении центра тяжести. Это уменьшение диапазона предельных отклонений ручки управления при полете с грузом на внешней подвеске вызывает серьезные затруднения в технике пилотирования. Вертолет реагирует даже на очень незначительные отклонения ручки управления, а при ее несоразмерно больших отклонениях могут создаваться настолько большие углы крена и тангажа, что вывод вертолета из них будет крайне затруднен или даже невозможен.

## I. УПРАВЛЕНИЕ ВЕРТОЛЕТОМ

На переходных режимах полета груз будет перемещаться с запаздыванием относительно движения вертолета. При резком перемещении вертолета в любую сторону груз из-за жесткой связи с вертолетом первый момент остается на месте, а затем начинает двигаться в сторону движения вертолета, что в дальнейшем приводит к раскачиванию груза. Колебания груза успокаиваются в полете в зависимости от фазы колебаний путем создания перегрузок, действующих на вертолет. Если скорость отклонения груза на тросе максимальна, то необходимо создавать избыточную перегрузку (отклонение рукоятки "шаг-газ"вверх). Если скорость перемещения груза равна нулю, то необходимо создавать перегрузку меньше единицы (отклонение рукоятки "шаг-газ"вниз). Однако ограничение хода рулевых поверхностей и общего "шага-газ"оказывается в полной мере иногда недостаточным для гашения колебаний. Кроме того, выполнение указанных управляющих действий требует информации о положении груза относительно вертолета, и с другой стороны - четких действий пилота. Если пилот управляет не синхронно, если скорость перемещения груза равна нулю, но есть отклонения груза, и создается перегрузка, то это приводит к десинхронизации и раскачке груза. Возникает чрезвычайно опасный режим, нарушается безопасность полета, что требует завершения режима полета и

сброса груза. Из-за сложностей управления вертолетом с грузом возникает необходимость автоматизации данных процессов.

## II. МОДЕЛЬ

Рассмотрим движение вертолета с грузом на разных этапах полета и угол отклонения троса в зависимости от времени (Рис. 1).

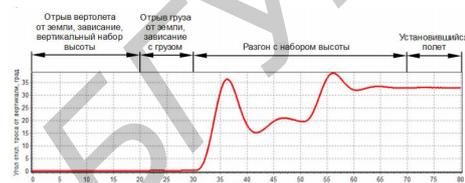


Рис. 1 – Зависимость угла отклонения троса от времени

В простейшем случае модель вертолета, представляется грузовой тележкой с электроприводом и подвешенным на тросе грузом с некоторыми допущениями. Перед нами двухмассовая система с управляемой электроприводом тележкой и свободно болтающимся под ней грузом.

Структура модели крана будет состоять из электродвигателя с дополнительной инерционностью тележки и консервативного звена, отражающего движение подвешенного груза. Квадрат частоты собственных колебаний подвеса будет определяться отношением ускорения силы тяжести  $g$  к длине подвеса  $L$ . Чтобы учесть воздействие груза на привод тележки и возможное ограничение на ускорение электропривода, инерционное звено представляем в виде контура с единичной обратной связью. В прямой цепи контура включены последовательно: коэффициент равный полосе пропускания электропривода, ограничитель ускорения ненагруженной тележки, сумматор для подачи ускорения от груза через коэффициент  $m/M$ , интегратор. Выход интегратора – скорость тележки, вход – ее ускорение.

Далее мы используем Шепинг фильтр, чтобы уменьшить действие груза на полет вертолета и максимально переложить эту задачу на автопилот. Таким образом удавалось переложить часть задач по управлению вертолетом с грузом от человека на машину.

Упрощенную модель вертолета с подвесом имела ряд плохих качеств. Время регулирования

было большим, а так же было большое количество колебаний. Из переходных процессов можно было хорошо увидеть, как ускорение груза влияет на всю систему во время полета.

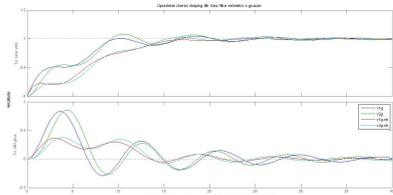


Рис. 2 – Зависимость угла отклонения троса от времени

Как можно заметить из (Рис. 2) Скорость вертолета колеблется за счет воздействия груза, мы видим колебания и изменения скорости вертолета, она со временем становится постоянной, когда начинается установившийся полет. Для гашения колебаний и улучшения качества характеристик мы используем модальный регулятор и Ш.Ф.

Мы видим, что введение в схему Ш.Ф. хорошо сказывается на переходном процессе системы. Уменьшает колебания, а так же время регулирования становится меньше. При этом воздействие груза на вертолет уменьшается.

Анализируя полученные данные, можно сказать, что возможно уменьшить колебания груза и их воздействие на вертолет, в данном случае с помощью Ш.Ф., однако это возможно сделать на уровне ПО с введением дополнительных датчиков для груза, троса и т.д. Соотнеся данные, можно автоматически управлять вертолетом с грузом без помощи пилота, при этом максимально эффективно использовать ресурсы, такие как время, топливо и т.д.

### III. ПИЛОТИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Предлагаемая нами модификация PUF типа арбитр позволяет точно охарактеризовать конфигурацию импульсов, приходящих с конфигурируемого пути, и увеличить число символов ответа, что позволит с большей достоверностью идентифицировать цифровое устройство на базе ПЛИС.

Возникают определенные трудности: сложность пилотирования вертолета с грузом на внешней подвеске, затрудняющее выполнение точного перемещения вертолета при проведении различных задач, а так же необходимость учитывать колебания груза, который воздействует

на вертолет может мешать летчику совершать полет с необходимой точностью и скоростью.

Эти приводит к тому, что работы могут выполняться только высококвалифицированными, прошедшими специальную подготовку летчиками. В этом случае летчик выполняет пилотирование вручную, однако для гашения колебаний груза подключается автоматическая система гашения колебаний груза, что позволяет летчику совершать различной сложности задачи с грузом.

Подходя комплексно к данному вопросу, актуально рассматривать так же анализ оперативных данных. Если говорить о пожарных вертолетах и грузе (вода). Во время лесных пожаров проводится в первую очередь разведка местности с помощью доступных технических средств. Вертолет должен залетать под 90 градусов к пожару и улетать в противоположное направление относительно распространения пожара. Правильное попадание по цели, позволяет как полностью потушить часть пожара, так и приостановить его на некоторое время. Поэтому задача оптимальной обработки ситуации, является важным аспектом пожаротушения, учитывая что видимость может быть плохая, нужно попадать в цель учитывая все параметры, такие как ветер высоту, скорость.

Нашей дальнейшей работой, будет обработка данных о ситуации, с целью нахождения оптимальных параметров для тушения пожаров.

### IV. ВЫВОДЫ

В ходе моделирования мы убедились, что колебания уменьшаются, можно добиться более безопасного и стабильного управления вертолетом. "Фильтр возможно реализовать различными способами, как программно, так и физически. Мы использовали модель объекта с модальным регулятором, с помощью которого мы смогли достичь хороших показателей для нашей системы. А именно: Избавиться от колебаний, ускорить время регулирования, на примере двухмассовой системы, а так же системы в виде двух математических, последовательно подвешенных маятников. Хотя учесть все факторы является трудной задачей и не всегда оправданной.

1. Есаулов С. Ю., Бахов О. П. Вертолет как объект управления. М., «Машиностроение», 1977.
2. Козловский Б. Паршенцев С. А. Ефимов В. В. Машиностроение/Машиностроение-Полет, 2008.- 304с
3. Либерзон Д. Системы управления, 2003.

*Крупеньков Александр Федорович*, магистрант кафедры систем управления БГУИР, alexanderkrupenkov@gmail.com.

*Научный руководитель: Хаджинов Михаил Касьянович*, заведующий кафедрой систем управления БГУИР, кандидат технических наук, доцент, markov@bsuir.by.