

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 629.7.05

Крупеньков
Александр Федорович

Система подавления колебаний подвеса с грузом пожарного
вертолета

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-53 80 01

«Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (по отраслям)»

Научный руководитель

Хаджинов Михаил Касьянович

кандидат технических наук, доцент

Минск 2017

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. Использование вертолетов для воздушных перевозок грузов на тросовой внешней подвеске (ВП) и проведения различных авиационных работ с использованием ВП давно доказало на практике свою высокую эффективность. Однако и сегодня перед разработчиками и эксплуатантами вертолетов, как и любой другой авиационной техники, стоит задача неуклонного повышения эффективности их эксплуатации при обеспечении необходимого уровня безопасности полетов (БП) особенно при проведении работ в опасных условиях, таких как лесные пожары.

Авиационные происшествия (АП) и авиационные инциденты (АИ) при эксплуатации вертолетов с грузом на внешней подвеске могут происходить и происходят на всех этапах полета. Однако в настоящей работе наибольшее внимание уделяется этапу транспортировки груза, который характеризуется поступательным перемещением системы «вертолет – груз на ВП», т.к. на этом этапе в наибольшей степени проявляется специфика полета с грузом на внешней подвеске. На данном этапе полета помимо отказов и ошибок экипажа, которые могут произойти на любом этапе полета, существенное влияние на БП оказывают нерасчетные условия эксплуатации, к которым можно отнести прежде всего повышенную атмосферную турбулентность и автоколебания груза на внешней подвеске. Кроме того, на этапе транспортировки более вероятно, чем на других этапах полета, превышение допустимых нагрузок на систему внешней подвески и исчерпание запасов управления из-за действия на груз значительных аэродинамических сил.

Для обеспечения высокой эффективности воздушных перевозок и авиационных работ желательно, чтобы диапазон допустимых скоростей полета вертолета был как можно шире или, по крайней мере, был заранее известен в целях обеспечения планирования работ. Ограничения этого диапазона скоростей во многом определяются динамикой груза на ВП и его влиянием на вертолет. При определенных сочетаниях параметров груза и параметров полета задача транспортировки груза может оказаться небезопасной или вообще невыполнимой. В связи с этим большое значение имеет возможность прогнозирования динамики груза с целью определения безопасных режимов его транспортировки на ВП вертолета.

Однако до сих пор прогноз динамики груза на тросовой ВП вертолета осуществляется преимущественно на основе экспериментальных методов исследования, обычно путем летных испытаний (ЛИ). Эти методы исследования требуют значительных финансовых затрат и по этой причине могут иметь низкую эффективность. В связи с этим необходимо создавать и совершенствовать теоретические методы обеспечения безопасности летной эксплуатации вертолетов при транспортировке грузов на внешней подвеске.

Используя машинное обучение в целях улучшения безопасности полета является перспективной задачей, которая позволит менее опытным пилотам

справляться с поставленными целями, такие как тушение пожаров на вертолете с подвеской, в которой находятся тонны воды. Возможно будет находить оптимальные пути и углы подлета к цели, для тушения с максимальной эффективностью, а самое главное, пилоту не потребуется для этого серьезных навыков. Задача транспортировки грузов на ВП является очень сложной, поэтому требуется пилот с большим пилотажным опытом. В перспективе этим смогут заниматься роботы, которые будут обучены на основе больших объемов данных о полетах летчиков, что позволит машине делать работу с такой и даже лучше точностью и качеством, нежели средний летчик.

Таким образом, задача разработки теоретических методов обеспечения безопасности летной эксплуатации вертолетов при транспортировке грузов на внешней подвеске, а так же автоматизация полета и нахождения оптимальных решений для задач представляется весьма актуальной.

Решению этой задачи и посвящена настоящая работа.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования. Основной целью работы является разработка теоретических методов, моделей, позволяющих путем проведения аналитических расчетов и ВЭ исследовать динамику системы «вертолет - груз на ВП» для выбора безопасных режимов полета и возможных путей изменения параметров груза, в том числе средств его стабилизации, для обеспечения БП, а так же улучшения эффективности тушения пожаров, автоматизации большинства задач по пилотированию вертолета в условиях, когда требуются большие пилотажные навыки от пилота.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

- 1) Провести анализ воздействия груза на вертолет при горизонтальном движении;
- 2) Исследовать способы, которыми возможно уменьшить воздействие колебания груза на полет вертолета;
- 3) Провести анализ проблем обеспечения безопасности летной эксплуатации вертолетов при транспортировке грузов на ВП и путей их решения;
- 4) Разработать теоретические методы обеспечения БП и эффективности вертолетов с грузом на ВП;
- 5) Разработать модель и провести моделирование системы гашения колебаний
- 6) Исследовать программное обеспечение (программный комплекс) для использования машинного обучения в задачах, решаемые с помощью вертолета;

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие положения:

- Подobie задачи управления вертолётom с грузом на внешней подвеске и подъёмным краном со сложным подвесом из двух грузов;
- Возможность использования алгоритмов управления краном для вертолётa при управлении автоматом перекоса в инерциальной системе координат;
- Возможности применения машинного обучения для автоматизации управления вертолетом на уровне пилота;
- Возможность обучение автопилота на основе нейронной сети на базе 3D моделей различных моделей вертолетов;

Апробация результатов диссертации. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 52-ой научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов, а также на международной научной конференции Информационные технологии и системы (ИТС-2016).

Опубликованность результатов. По материалам диссертационной работы опубликовано 4 печатные работы, включая 2 статьи в материалах конференций и 2 тезисов докладов научных конференций. Суммарный объем публикаций составляет около 6 печатных страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников. Она содержит 51 страницу основного текста, 22 рисунков, 1 таблиц, в списке использованных источников 16 наименований.

Библиотека БГУИР

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, формулируются задачи и цели исследования.

В первой главе проведен обзор литературы по методам, способам и устройствам подавления колебаний гибкоподвешенного груза, перемещаемого подъемно-транспортными механизмами (ПТМ). Показаны особенности транспортировки грузов на внешней подвеске вертолета, а также говорится о подобии задач управления вертолетом и подъемным краном. Из большой группы ПТМ выделены мостовые краны как объект исследований причин возникновения колебаний и анализа способов их демпфирования. В данном случае задачу с вертолетом и грузом можно упрощенно сравнивать с задачей с кранами.

При пуске и торможении механизмов передвижения мостового крана, груз отклоняется от положения равновесия в сторону, противоположную движению. После достижения приводом механизма передвижения заданной скорости, ускорение точки подвеса становится равным нулю, колебания груза затухают вследствие действия сил сопротивления. Наличие колебаний приводит к увеличению максимальной нагрузки на привод и металлоконструкции, осложняет точность отработки требуемых траекторий движения и позиционирования груза, снижает производительность подъемно-транспортного механизма.

Механические способы ограничения раскачивания груза приводят к усложнению конструкции крепления груза, увеличивают инерционность и габаритные размеры систем, повышают сложность их настройки и эксплуатации. Способы, основанные на ручном управлении, заключаются в том, что оператор определенным образом маневрирует механизмами крана. При ручном управлении система электропривода может быть сравнительно простой, однако работа оператора оказывается в этих случаях интенсивной и напряженной, а сам оператор должен быть достаточно опытным.

В автоматических системах успокоения колебаний груза, применяются сложные датчики отклонения или формируются определенные законы изменения ускорения механизма передвижения от времени. Известные способы автоматического успокоения реализованы зарубежными фирмами и не имеют отечественных аналогов.

В простейшем случае модель крана представляется грузовой тележкой с электроприводом и подвешенным на тросе грузом см. Рис.1. Налицо двухмассовая система с управляемой электроприводом тележкой и свободно болтающимся под ней грузом.

При транспортировке груза на внешней тросовой подвеске (ВП) вертолета возможно возникновение колебаний груза. Это может быть вызвано из-за неудобообтекаемой формы груза, воздействием порыва ветра,

автоколебаниями груза, ускоренным перемещением вертолета в горизонтальной плоскости при маневрировании.

Поскольку груз связан с вертолетом с помощью троса и при колебаниях груза трос отклоняется от своего равновесного положения, сила натяжения троса, т.е. сила, действующая на вертолет, изменяется по величине и направлению. В результате возникают колебания вертолета.

Методы борьбы с продольно-поперечным раскачиванием груза известны и применяются на практике: снижение скорости полета, создание вертикальных и горизонтальных ускорений вертолета (т.е. изменение характеристик движения точки подвеса груза на вертолете). В связи с этим представляет интерес следующий вопрос: как должна двигаться точка подвеса груза, чтобы как можно быстрее погасить колебания?

Структура модели будет состоять из рассмотренной выше модели электродвигателя с дополнительной инерционностью тележки и консервативного звена, отражающего движение подвешенного груза.

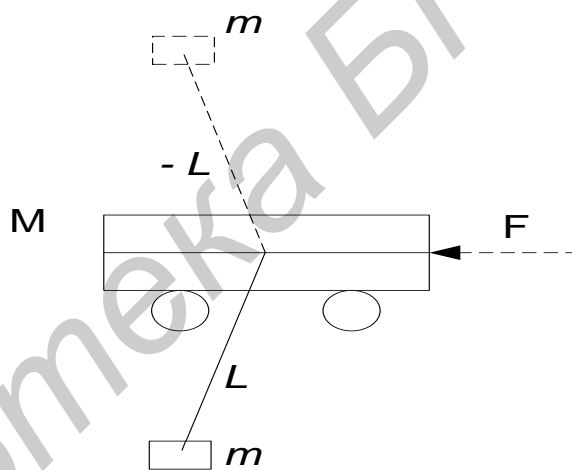


Рисунок 1 - Тележка с грузом

Квадрат частоты собственных колебаний подвеса будет определяться отношением ускорения силы тяжести g к длине подвеса L . Взаимное силовое воздействие тележки и груза в горизонтальной плоскости будет пропорционально смещению груза относительно точки подвеса. Ускорение тележки под действием груза будет зависеть от отношения массы груза m к массе тележки M .

С учетом того, что процессы управления замкнутым электроприводом с обратной связью по скорости значительно быстрее процессов колебаний подвеса, обычно пренебрегаем инерционностью электромагнитных процессов в электродвигателе и задаем модель электропривода инерционным звеном с полосой пропускания электропривода. Структурная схема модели изображена на рис. 2.

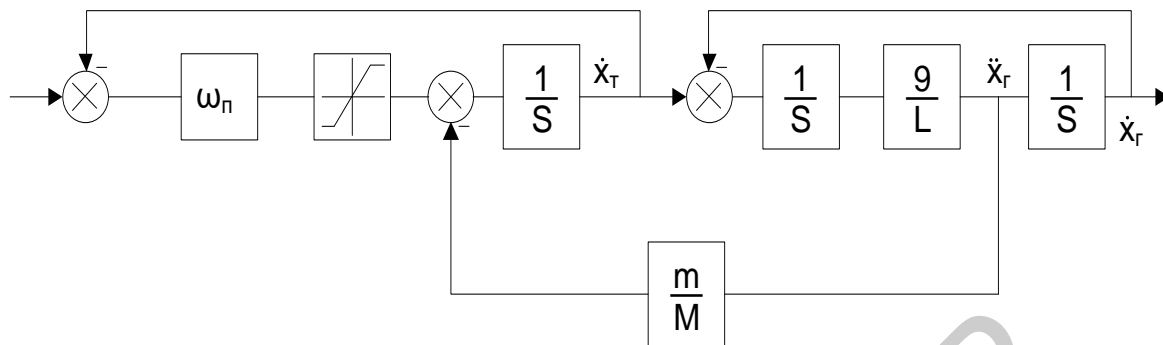


Рисунок 2 – Структурная схема модели

Вторая глава работы посвящена теоретическому обоснованию выбора ММ динамики вертолета для решения задачи построения ММ динамики системы «вертолет – груз на ВП». В данной главе сформулированы основные требования к ММ вертолета, предназначенной для работы в составе виртуальной системы «вертолет - груз на ВП»:

Используется математическая модель (ММ) вертолета Ми-8, разработанная Ивчиным В.А.

Основные ограничения и допущения ММ вертолета:

- вертолет рассматривается как абсолютно твердое тело;
- аэродинамические силы и моменты, действующие на вертолет, вычисляются в стационарной постановке;
- коэффициенты аэродинамических сил и моментов, действующих на вертолет, сил и моментов несущего и рулевого винтов, параметры силовой установки заданы в виде массивов в зависимости от соответствующих параметров (углов атаки и скольжения, скорости набегающего потока воздуха, общего шага, угловых скоростей тангажа и крена, барометрической высоты и температуры окружающего воздуха и т.д.);
- промежуточные значения коэффициентов сил и моментов вычисляются методом линейной интерполяции;
- уравнения движения интегрируются численно (нелинейная модель).

Эта ММ основана на общеизвестных уравнениях динамики одновинтового вертолета, где для определения величин сил и моментов, действующих на вертолет, используются многомерные массивы значений аэродинамических коэффициентов в зависимости от параметров, меняющихся с заранее определенным шагом. Для получения промежуточных значений используется метод линейной интерполяции. Это так называемая «сеточная» модель.

Основные ограничения и допущения ММ груза:

- груз рассматривается как абсолютно твердое тело, подвешенное на упругом тросе;
- вертолет и трос связаны идеальным сферическим шарниром;
- аэродинамические силы и моменты, действующие на груз, вычисляются в стационарной постановке (аэродинамические силы, действующие на трос, не учитываются);
- в зависимости от конкретной задачи груз и трос рассматриваются либо как два тела, связанные идеальным сферическим шарниром, либо как одно тело «груз – трос»;
- вертолет и трос связаны идеальным сферическим шарниром;
- аэродинамические силы и моменты, действующие на груз, вычисляются в стационарной постановке (аэродинамические силы, действующие на трос, не учитываются);
- коэффициенты аэродинамических сил и моментов, действующих на груз, заданы в виде двумерных массивов в зависимости от углов атаки и скольжения груза;
- влияние обдувки груза индуктивным потоком от несущего винта (НВ) вертолета не учитывается;
- уравнения движения интегрируются численно (нелинейная модель).

Для того чтобы вертолет мог выполнять управляемый полет, необходимо иметь возможность целенаправленно изменять параметры его движения. В связи с этим в ММ динамики вертолета включена модель управляющих воздействий.

В третьей главе исследуются способы подавления колебаний груза на подвесе. Производится обзор существующих методов как физических так и на программном уровне. Разработка метода с применением шепинг фильтра.

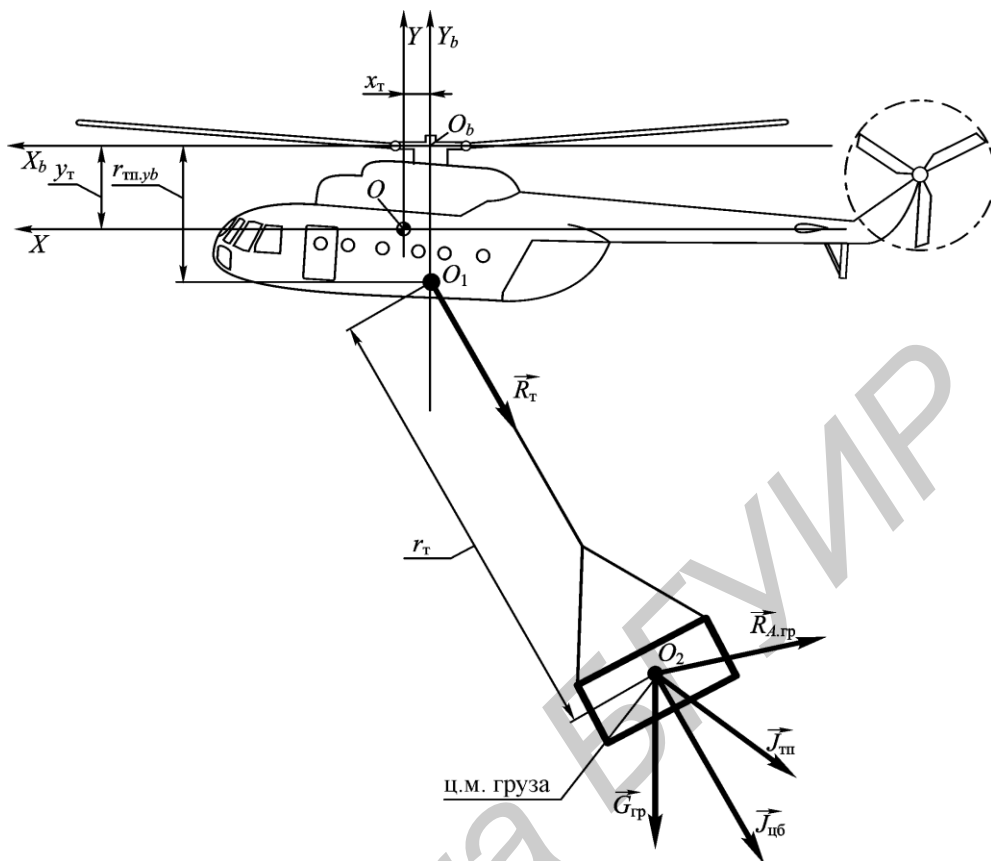


Рисунок 3 – Схематическая модель вертолета с грузом на внешней тросовой подвеске с приложенными силами

Для разработки методов стабилизации грузов на внешней подвеске вертолета при выполнении экстренных АР проведен анализ существующих методов повышения безопасности и эффективности ЛЭ вертолетов, применяемых при выполнении традиционных АР по транспортировке грузов на ВП, и подходов к решению проблемы обеспечения динамической устойчивости системы «экипаж - вертолет - груз на ВП - внешняя среда».

На основе проведенного анализа сделан вывод, что ввиду специфики условий проведения экстренных АР, применение специальных ТС стабилизации груза на ВП и пилотирование комбинированным методом из дополнительной кабины для пилота-оператора не всегда возможно. Обоснована позиция автора, что наиболее эффективным методом повышения динамической устойчивости системы при выполнении экстренных АР является разработка приемов пилотирования по устранению раскачки груза в полете за счет совершения управляющего маневра, что подтверждено результатами математического моделирования динамики движения системы «вертолет - груз».

Главные проблемы динамики движения вертолета с ГВП:

- идентификация возмущений с учетом сложной аэродинамики обтекания лопастей вертолета, фюзеляжа и рулевого винта, идентификация характеристик аэродинамики сложных по форме грузов на внешней подвеске;
- определение границ опасных зон отклонений подвижных элементов от нормативных значений, для предупреждения аварийных ситуаций;
- поиск эффективных методов гашения колебаний «неудобообтекаемых» грузов на ВП, важнейшим является «гашение» путем маневров в упрежденные точки (по методу «сдвига точки подвески»);
- проверка и доказательство положений о том, что «просадки» вертолета (смещение ТП) изменяют период колебаний ГВП;

Наиболее общий и рациональный способ «успокоения» поперечной раскачки груза в полете заключается в синхронизации, по возможности, движений вертолета и груза (рис. 4). Если, например, груз в процессе раскачки «пошел» вправо с достаточно большой амплитудой и периодом колебаний, целесообразно ввести вертолет в правый крен и скольжение и попытаться «догнать» таким образом груз. При последующем движении груза влево подобный «догон» можно будет выполнить быстрее и проще.

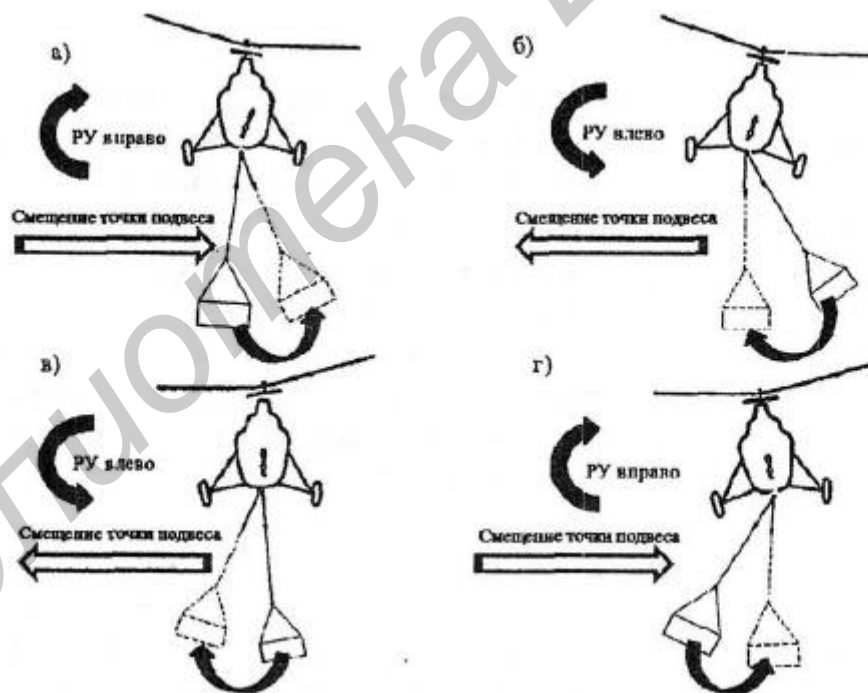


Рисунок 4 – Схема маневра гашения поперечных колебаний ГВП

Аналогичный способ можно предложить и для устранения раскачки груза в продольном отношении (рис. 5), с той лишь разницей, что продольные колебания более опасны с точки зрения безопасности полета, так как в процессе их «успокоения» требуются разнонаправленные движения ручкой управления в продольном направлении для создания вертикали системы вертолет-груз с помощью тангажа, что небезопасно ввиду возможности

опасного сближения лопастей несущего винта с хвостовой балкой. Кроме того, такой способ представляет определенную сложность для пилота, требует большого опыта и отличных навыков в технике пилотирования.

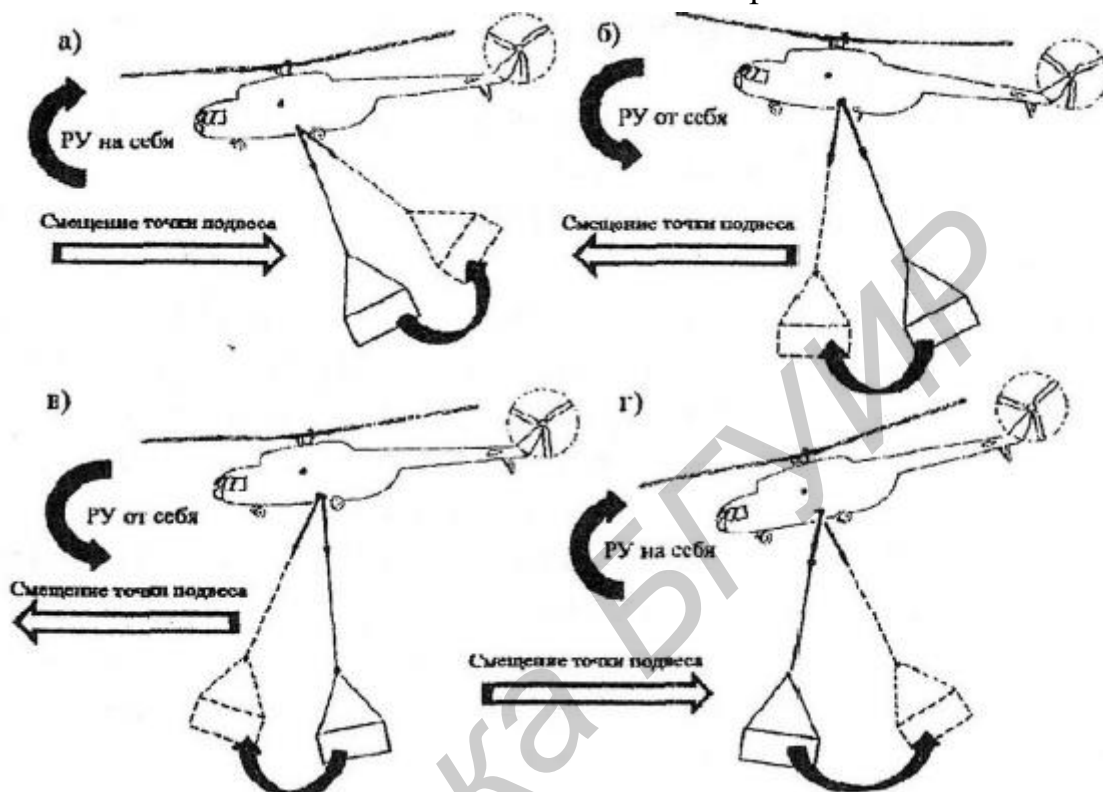


Рисунок 5 – Схема маневра гашения продольных колебаний ГВП

Поэтому более безопасным и достаточно эффективным, хотя и более продолжительным, является способ гашения продольных колебаний ГВП путем перевода их в продольно-поперечные, а затем в поперечные колебания, которые затем минимизируются путем синхронизации движений вертолета и груза.

Для этого необходимо ввести вертолет в разворот, тем самым изменив характер обтекания груза с продольного на встречно-боковое, за счет чего через некоторое время раскачка ГВП также меняет свое направление и переходит из продольной в поперечную, после чего необходимо вывести вертолет в прямолинейный полет и устранить поперечные колебания груза креном.

В нашем случае можно представить вертолет, как трех-массовую систему с подвесом по аналогии с краном. Если груз представляет собой протяженную конструкцию с возможностью колебаний относительно собственного центра масс, модель его движения может быть представлена в виде двух масс m_1 и m_2 , связанных между собой еще одним подвесом длиной L_2 . К выше изложенной модели надо подключить еще одно консервативное звено (для нижней массы m_2) к выходу скорости верхней массы m_1 . Воздействие нижней

массы m_2 на верхнюю m_1 учитываем передачей ускорения с коэффициентом m_2 / m_1 . При управлении приводом автомата перекоса по измерениям горизонтальной скорости вертолёт справедлива структурная схема модели системы «вертолёт-груз» в виде трех масс.

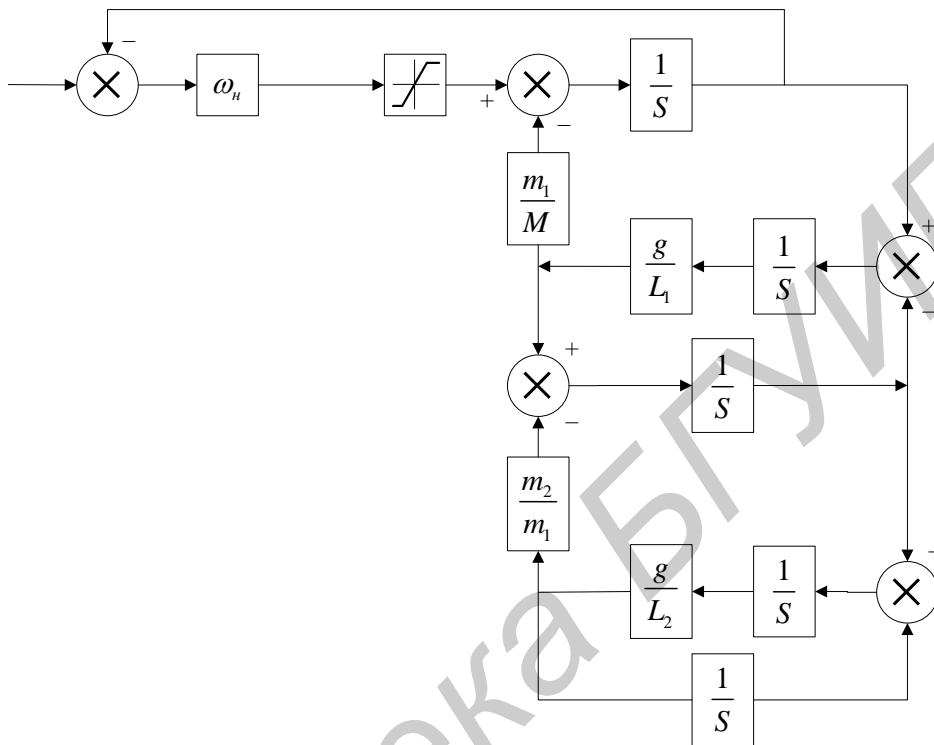


Рисунок 5 – Структурная схема модели с тремя массами для крана с грузом

Инерционность контура управления автоматом перекоса моделировалась дополнительным инерционным звеном, введённым в контур управления продольной скорости вертолёт. При этом частота полосы пропускания контура регулирования продольной скорости вертолёт выбирается в 2.5 раза меньше ω_r – частоты полосы пропускания контура регулирования автомата перекоса.

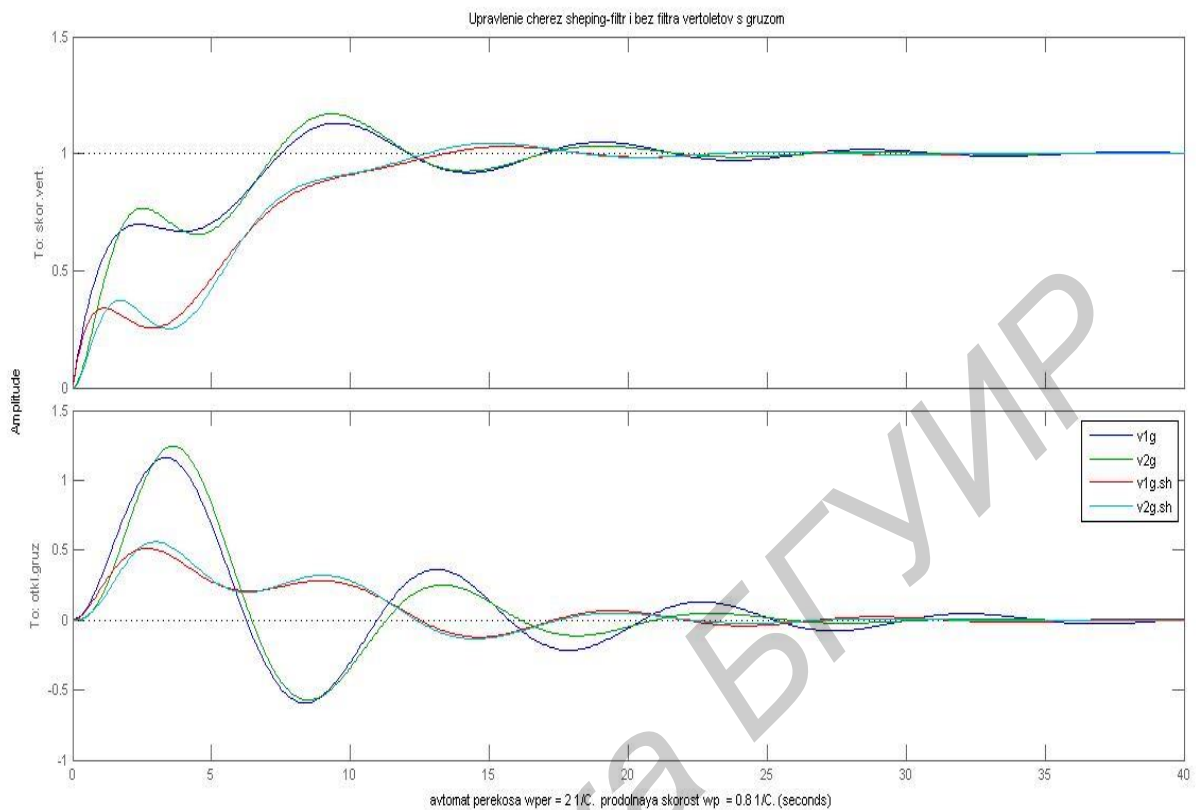


Рисунок 6 – Результаты моделирования с Ш.Ф. и без с $\omega_r = 2 \text{ 1/C}$

ω_r – частота с которой мы управляем автоматом перекося, а именно регулируем полет вертолета. С ростом частоты управления характеристики улучшаются, однако поддерживать такую частоту изменения угла автомата перекося и при том, что необходимо это делать четко и верно, сможет справиться не каждый пилот, поэтому такая задача будет полностью ложиться на плечи автоматической системы управления автоматом перекося для гашения колебаний подвеса с грузом во время полета.

В четвертой главе рассматривается возможность использования нейронных сетей в задачах управления.

Системы автоматического управления являются критически важной и неотъемлемой частью современных технических устройств, комплексов и процессов. Тенденции развития цивилизации таковы, что сама жизнедеятельность человека становится все более зависимой от нормального функционирования технических систем, а значит, от систем управления ими.

Развитие современных систем управления характеризуется следующими

ключевыми аспектами:

- Возрастающая сложность объектов и систем управления ими;
- Повышение требований к темпам разработки;
- Удовлетворение приведенных выше требований меньшими и менее точными знаниями об объекте управления и его окружении;

Для решения возникающих все более сложных задач управления аппарат теории управления развивается как вглубь (совершенствование классических подходов), так и вширь (появление новых методологий). Одним из новых и перспективных направлений в современной теории автоматического управления является использование искусственных нейронных сетей. За последние 20 лет наблюдается значительный рост публикаций на эту тему, а также, все возрастающее число примеров успешного применения нейронных сетей (НС) в реальных системах управления в различных областях науки и техники.

В большинстве из рассмотренных работ нейронная сеть выступает в одном из следующих качеств:

- регулятора;
- модели объекта управления;
- оптимального фильтра объекта управления;
- регулятора совместно с регулятором другого типа: линейным и нечетко-логическим;
- настройщика регулятора другого типа;
- классификатора или распознавателя образов.

В пятой главе рассматривается программное обеспечение, которое нужно разработать для обучения нейронной сети. А именно:

- 3D модель вертолета с грузом, на которой можно будет собирать приближенные данные о полете для обучения сети, которая будет ставиться на вертолет в уже частично обученном состоянии и продолжать обучаться на реальных данных.
- Программное обеспечение самой нейронной сети, которая будет требовать минимальное количество вычислительных мощностей.
- Проработать вариант использования такой сети на мобильном телефоне

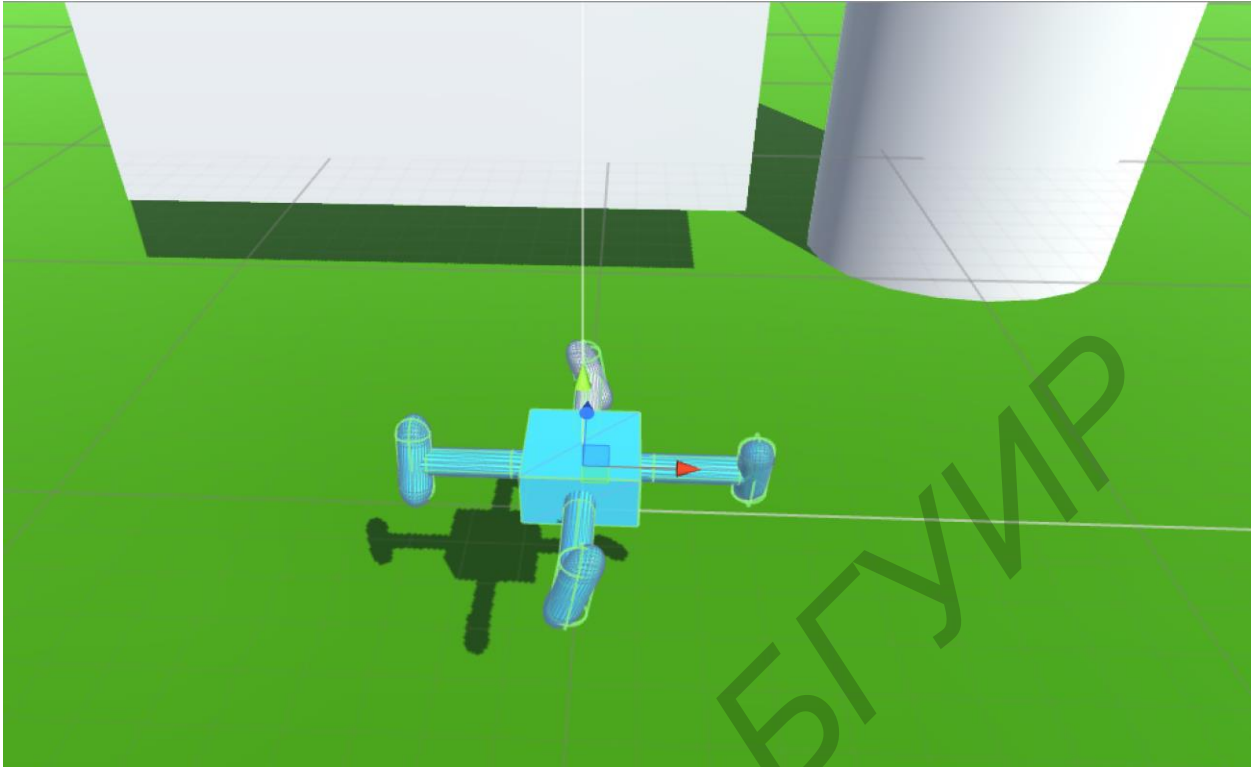


Рисунок 7 – 3D квадрокоптер в среде Unity 3D

Такой подход позволит опробовать выше описанные теоретические способы гашения колебаний, а именно опробовать способность машины принимать решения о полете.

Это один из дешевых и не требующих больших затрат способ проверки возможности машины управлять вертолетом и обучаться на реальных полетах. Здесь же мы сможем опробовать полет с грузом, так же тушение пожаров и попадание по цели с разной высоты. Мы с можем смоделировать поведение воды и другие свойства реальных объектов, добавить различные возмущающие факторы, такие как ветер, задымленность и т.д. Это всё позволит в ходе моделирования опробовать теоретические выводы.

В шестой главе рассматривается возможность и способы применения машинного обучения для задач, связанных с тушением лесных пожаров на пожарном вертолете с грузом на внешней тросовой подвеске. Ранее обнаружение пожаров, прогнозирование распространения пожаров и т.д.

Задачи, которые можно решать с машинным обучением:

- Прогнозирование распространения пожара в различных условиях;
- Ранее обнаружение пожаров посредством обработки спутниковых снимков;
- Система нахождения оптимального места и параметров сброса воды на очаги пожара;

- Автоматизация полета вертолета с грузом на внешней подвеске для уменьшения колебательного процесса груза с целью недопущения больших или критических перегрузок. Реагирование на нестандартные ситуации требующие немедленного принятия решения, где у пилота не достаточно времени, чтобы среагировать должным образом.
- Посадка вертолета в экстренных условиях

Прогнозирование распространения пожара весьма актуальная задача, решение которой может помочь пожарным и другим службам эффективно локализовать и потушить пожары. В данном случае существует огромное количество показателей, которые могут влиять на скорость и направление пожаров. Очень важно собирать как можно больше данных о случившихся пожарах и тех, которые еще будут, для того чтобы в будущем этих данных было достаточно для обучения нейронных сетей с целью предсказания пожаров лучше, чем это бы делал человек.

Ранее обнаружение пожаров посредством обработки спутниковых снимков уже активно используется в разных странах. На основе компьютерного зрения определяются места возгорания, что тем самым помогает быстро начать реагировать на пожар, особенно это касается мест, которые труднодоступны, т.к. чтобы отслеживать пожары с земли не дешево и требует установки различного оборудования в лесах и их постоянного обслуживания.

Система нахождения оптимального места и параметров сброса воды на очаги пожара сложная задача, т.к. зачастую полет к месту пожара является крайне опасной для вертолета и экипажа. Поэтому очень важно, чтобы максимально количество материала для тушения достигло своей цели и при этом была обеспечена максимальная точность попадания и безопасность для экипажа. Сброс материала уменьшает массу системы «вертолет - груз», что должно учитываться при маневрах, а также восходящие потоки горячего воздуха и задымленность мешают решению данных задач. Сбор информации о таких полетах является сейчас важной задачей. Потому что на основе большого количество таких данных, возможно создать модели, которые будут эффективно решать и автоматизировать такие задачи. Уже не понадобится летчик с большим опытом пилотирования, чтобы решать такие задачи. Это так же минимизирует ошибки от человеческого фактора. Зачастую в современном мире, аварии происходят по человеческой ошибке. Поэтому задача оптимизации и автоматизации таких сложных, и требующих принятия моментальных решений, является весьма актуальной.

Автоматизация полета вертолета с грузом на внешней подвеске для уменьшения колебательного процесса груза с целью недопущения больших

или критических перегрузок. Реагирование на нестандартные ситуации, требующие немедленного принятия решения, где у пилота недостаточно времени, чтобы среагировать должным образом могут быть автоматизированы самым разным образом, автором работы предложено рассмотреть вариант гашения колебаний с использованием машинного обучения. При достаточном объеме данных на которых можно натренировать систему, можно будет сравнить работу системы с опытным пилотом, что крайне важно, т.к. человек подвержен усталости, отвлечению и может совершать ошибки, а также человек не способен очень быстро, как машина считывать различные показатели и моментально на них реагировать. Машина в этом плане будет превосходить человека. В первое время машина не сможет полностью заменить пилота, однако сможет быть незаменимым помощником для пилота, а также система будет учиться управлять вертолетом у пилота, пока сама не сможет научиться этому. А с развитием технологий, компьютеры, которые способны решать такие задачи уже могут спокойно помещаться в карман, что может быть очень важным, т.к. это не будет требовать наличия постоянного соединения с удаленным сервером для вычисления в реальном времени данных о полете и принятия по ним решений.

Посадка вертолета в экстренных условиях. Создание оптимальной программы для автоматического управления вертолетом (сейчас мы будем говорить о маленькой радиоуправляемой модели) будет происходить при помощи специального симулятора, в который будут введены данные о динамической модели вертолета и о среде, а также параметры полученных в ходе демонстрационных полетов траекторий. Вся эта информация ляжет в основу машинного обучения. Разрабатываемая программа, пилотируя вертолет в симуляторе, пройдет «курс» так называемого обучения с подкреплением.

В итоге работы с симулятором вырабатывается алгоритм оптимального управления вертолетом и практически идеальная траектория выполнения фигуры высшего пилотажа. Получив первые уроки у пилота-эксперта, сделав свои ошибки и получив за них заслуженные «наказания», машина теперь может превзойти его по уровню летного мастерства.

Приведем пример, на основе данных от ученых из США, которые обучили маленькую модель вертолета садиться в режиме авторотации.

Авторотацией называется режим работы главного ротора вертолета при отключенном или вышедшем из строя двигателе. В этом случае энергия, необходимая для вращения винта, отбирается от набегающего на винт потока. Для вертолета такой режим считается аварийным, однако опытный пилот, управляя скоростью главного ротора, способен совершить на авторотации безопасную посадку. Но если опыта не хватит и при касании земли вертикальная или горизонтальная скорость аппарата окажутся слишком высокими, вертолет может разрушиться или перевернуться. Низкая скорость

движения винта может привести и к тому, что лопасти отрубят вертолету хвост, что также может закончиться печально. А главное — повторный заход на посадку при авторотации невозможен.

Чтобы решить эту проблему, создавался алгоритм управления вертолетом в случае экстренной посадки. Методика осталась прежней: сначала было проведено десять спусков радиоуправляемой модели на авторотации, затем был вычислен алгоритм идеальной посадки, который и был внесен в память управляющего вертолетом компьютера. На этапе спуска автономный вертолет двигался по траектории, приблизительно повторяющей траекторию моделей, управляемых по радио. Затем на этапе выравнивания (он начался на высоте 9 м) аппарат двигался уже по «идеальной» траектории, просчитанной с помощью компьютера. Согласно поставленной задаче в момент касания земли горизонтальная скорость вертолета должна быть практически нулевой. Испытания автономных вертолетов (для них применялась модель XCell Tempest длиной 137 см) состояли из 25 посадок, каждая из которых завершилась успешно, после чего команда объявила о создании первого в истории роботизированного автономного вертолета, умеющего самостоятельно совершать безопасную посадку в режиме авторотации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в диссертационной работе теоретические исследования актуальных вопросов повышения эффективности полетов, а именно разработаны теоретические методы обеспечения безопасности летной эксплуатации вертолетов при транспортировке грузов на внешней подвеске.

Обоснована возможность гашения колебаний груза на внешней подвеске маневром вертолета и определения момента начала пилотом маневра для уменьшения колебания груза, в зависимости от положения внешней подвески в определенном периоде колебания.

Проведено моделирование устройства в системе, позволяющее подавлять колебания груза во время полета вертолета.

Разработан теоретический метод гашения колебаний груза с использованием машинного обучения для автоматизации выполнения работы.

Разработаны рекомендации по устранению колебаний груза в полете, направленные на выработку устойчивых навыков пилотирования вертолета с грузом на внешней подвеске и безопасное выполнение полета в случае, когда при выполнении экстренных АР невозможно устранить колебания груза, где в случаях экстренных ситуаций будет принимать решения машина.

Обучение нейронной сети навыкам пилотирования будет производиться на 3D моделях, созданных в среде Unity 3D, для упрощения и ускорения разработки обученной системы, способной управлять реальным вертолетом. Так же в этой среде будут опробованы возможности машины автоматически садиться в экстренных ситуациях, сбрасывать точно и с большой точностью ОЖ на очаги возгорания. Данные модели будут иметь в себе данные о том, как правильно нужно пилотировать вертолет, это станет основой для обучения сети. В дальнейшем эксперименты можно будет проводить на реальных мини моделях вертолетов и проверять на практике полученные выводы.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в материалах конференций

1. Вертолет с грузом на внешней подвеске как объект управления / А.Г. Гинько, А.Ф. Крупеньков, М.К. Хаджинов // Информационные технологии и системы 2014 (ИТС 2014): материалы международной конференции БГУИР, Минск, Беларусь, 29 октября
2. Пожарный вертолет с грузом на внешней подвеске как объект управления / А.Г. Гинько, А.Ф. Крупеньков, М.К. Хаджинов // 51-ая научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 13-17 апреля 2015, Минск
3. Пожарный вертолет с грузом на внешней подвеске / А.Г. Гинько, А.Ф. Крупеньков, М.К. Хаджинов // Минский государственный высший авиационный колледж, 18 декабря 2014, г. Минск
4. Пожарный вертолет с грузом на внешней подвеске как объект управления / А.Ф. Крупеньков, М.К. Хаджинов // Информационные технологии и системы 2016 (ИТС 2016): материалы международной конференции БГУИР, Минск, Беларусь, 26 октября