

УДК 62-529, ГРНТИ 59.01.11

**АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА СОСТАВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.4.73.672](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.4.73.672)**Смирнов Владимир Алексеевич**ORCID: [0000-0001-6322-8430](https://orcid.org/0000-0001-6322-8430)

аспирант, РТУ МИРЭА

РФ, г. Москва

**ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE COMPOSITION OF THE CONTROL SYSTEM OF  
THE UNMANNED AERIAL VEHICLE****Vladimir Smirnov**

graduate student of RTU MIREA

Russia, Moscow

**АННОТАЦИЯ**

В данной статье рассматриваются факторы, влияющие на состав системы управления беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Приведенные примеры управления, являются традиционными способами реализации системы управления ориентацией БПЛА и используются во многих системах. Таким образом, система управления позволяет принимать и исполнять команды контроллера и обеспечивать стабилизацию воздушного судна на заданные параметры скорости, направления и высоты.

**ABSTRACT**

In this article the factors influencing the composition of an unmanned aerial vehicle (UAV) control system are considered. The given examples of management, are traditional ways of realization of a control system of the UAV orientation and are used in many systems. Thus, the control system allows receiving and executing commands of the controller and providing stabilization of the aircraft for the specified parameters of speed, direction and altitude.

**Ключевые слова:** датчики, гироскоп, акселерометр, магнитометр, БПЛА, системы управления

**Keywords:** sensors, gyroscope, accelerometer, magnetometer, UAV, control systems

В современных системах наблюдается повышенная тенденция использовать «привязанные» датчики, прикрепленные к осям корпуса. Они непосредственно определяют скорость для расчета, но нуждаются в математической интеграции, чтобы дать направление и курс, как это сделано в инерциальных навигационных системах. На рисунке 1 изображены основные управляющие поверхности БПЛА.

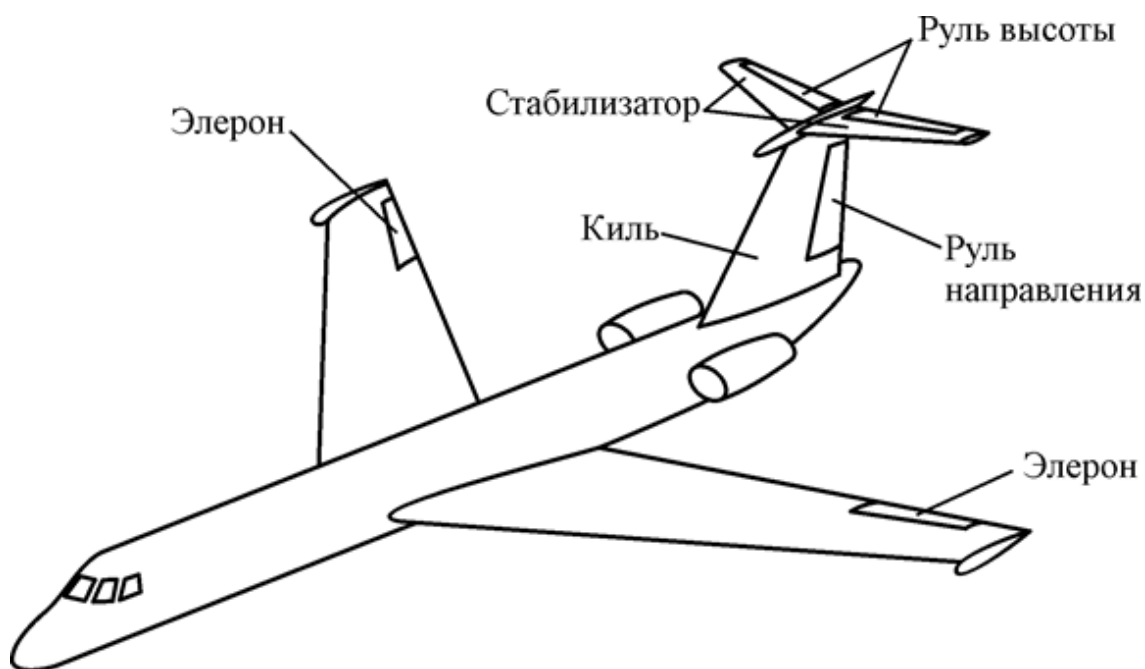


Рисунок 1. Управляющие поверхности

Функции управления и стабильности БПЛА будут зависеть от различных конфигураций корпуса и требуемых характеристик. Контроль может быть определен для наших целей как средство направления БПЛА в требуемое положение, траектории и скорость, в то время как стабильность - это способность системы поддерживать БПЛА в этих состояниях. Контроль и стабильность неумолимо связаны внутри системы, но необходимо понять разницу.

Общая система может быть рассмотрена для удобства в двух частях:

- Рассматриваемая часть системы, которая принимает команды от оператора (в краткосрочной или долгосрочной перспективе), сравнивает ориентацию БПЛА с командами и инструктирует другую часть системы сделать соответствующую коррекцию. Это часто называют автоматической системой управления полетом или логикой системы управления и содержит память для хранения миссии и локализованных программ полета.

- «Мускулы» системы, которые принимают инструкции и применяют входные сигналы для управления двигателем и аэродинамическими управляющими поверхностями.

Еще одно различие заключается в том, как следует поддерживать ориентацию БПЛА относительно воздушной массы, в которой летает БПЛА, или относительно пространственных координат.

Для БПЛА параметры полета в основном:

- направление,
- горизонтальная скорость,
- высота над уровнем моря,
- скорость набора высоты.

Направление полета может контролироваться комбинацией отклонения руля и элеронов. Горизонтальная скорость будет регулироваться путем регулировки тяги двигателя и отклонения оперения. Скорость подъема до заданной высоты достигается применением комбинации отклонения элеронов и тяги двигательного аппарата.

Расположение аэродинамических управляющих поверхностей могут различаться для каждого типа БПЛА. Например, конфигурация «летающего крыла» будет использовать элероны, которые отклоняются в одном направлении для управления шагом и дифференциально для управления рулем. На рисунке 2 изображены оси и углы наклона БПЛА.

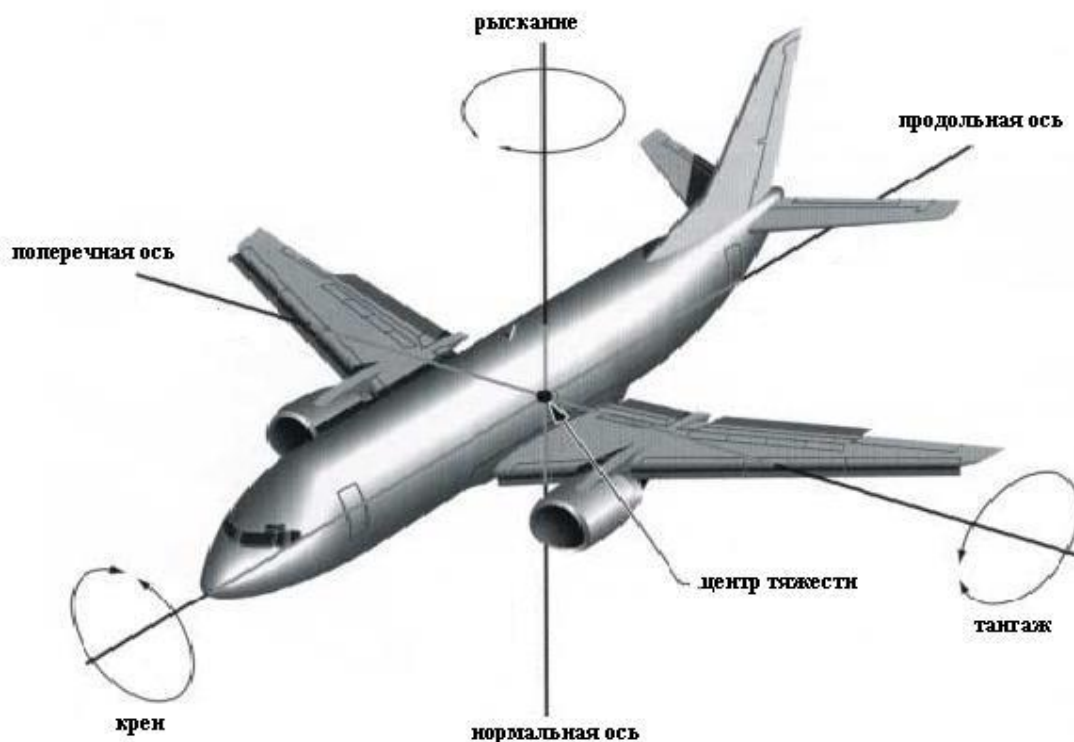


Рисунок 2. Оси и углы наклона

Несколько проще поддерживать ориентацию относительно массы воздуха, т. е. настраивать воздушное судно как аэродинамически стабильное. Обычно это требует областей хвостового оперения, чтобы обеспечить стабильность, как в области высоты, так и в рыскании, и требует наличия двугранного крыла в самолетах с неподвижным крылом для обеспечения сцепления между

боковым скольжением и движением руля, чтобы обеспечить устойчивость в смысле вращения. Недостатком этого является то, что самолет будет двигаться с воздушной массой, то есть реагировать на порывы (воздушная турбулентность). Это движение обычно включает линейные сдвиги и угловые вращения относительно Земли. Это приведет к большим трудностям в поддержании,

например, камеры визирования на наземной фиксированной цели.

Альтернативой является создание самолета, который будет аэродинамически нейтрально устойчивым, в частности, с небольшим или отсутствием вращения, создаваемого фиксированными аэродинамическими поверхностями в ответ на порывы, что снижает требования к угловой стабилизации для датчиков. Подвижные управляющие поверхности используются для управления и стабилизации самолета нормальным образом относительно пространственных координат.

Таким образом, последняя конфигурация имеет преимущество, что обеспечивает более устойчивую платформу для функций полезной нагрузки. В действительности, однако, практически невозможно сделать самолет аэродинамически невосприимчивым к порыву во всех режимах, но может быть возможно сделать его невосприимчивым в некоторых режимах и иметь лишь небольшой отклик у других.

Другим преимуществом нейтрально-стабильной конструкции является то, что аэродинамические поверхности хвостового оперения и ребра, например, при замене на гораздо меньшие подвижные поверхности для управления, будут экономить сопротивление больших площадей и могут сделать БПЛА более эффективным в круизном полете. Производители пассажирских самолетов двигаются таким образом, теперь, чтобы обеспечить больше комфорта для пассажиров и сократить сжигание топлива и улучшить экономию эксплуатации.

Недостатком этого подхода является то, что в системе управления необходимы более сложные датчики и вычислительная мощность, чтобы определить ориентацию БПЛА в полете и применить правильное количество соответствующего контроля или комбинации элементов управления. Это может увеличить первоначальную стоимость системы по сравнению с аэродинамически стабильной системой, но она должна компенсироваться более высокой операционной эффективностью и снижением эксплуатационных расходов.

Перед полетом программа миссии может быть скопирована в память компьютера системы управления. Очень простая программа может состоять из серии «путевых точек», которые самолет должен перелетать, прежде чем вернуться на базу, и скорости движения между этими точками. Это может быть более сложным, поскольку график полета по этим точкам может быть запланирован вместе со схемой работы полезной нагрузки.

Если операторы находятся на радиосвязи с БПЛА то, команды программы могут быть переопределены, например, для проведения более подробного ручного наблюдения за целью. Можно также предусмотреть обновление программы миссии во время полета БПЛА.

Для взлета и посадки БПЛА может управляться начальной и конечной частью программы или вручную с использованием перенастроек. В настоящее время большинство систем используют последний подход, поскольку автоматический учет влияния перекрестного управления в этих режимах затруднен.

БПЛА поддерживается обычно при использовании метода с нулевой погрешностью. Демпфирующий коэффициент может быть добавлен в любой или все режимы, например в угол рыскания, чтобы гарантировать, что после потери сигнала БПЛА возвращается к управлению быстро и без чрезмерных колебаний. Рассмотрим три канала управления.

Канал скорости: команда воздушной скорости самолета из памяти сравнивается с фактической воздушной скоростью, которая воспринимается, и получается отклонение между ними. Множитель применяется к сигналу ошибки, который передается в систему привода дроссельной заслонки с его контуром обратной связи. Это делает регулировку дроссельной заслонки пропорциональной мгновенной ошибке до достижения равновесия. При условии, что отклик силового агрегата прогрессивен и что коррекция происходит на воздушной скорости выше минимальной скорости вращения летательного аппарата, движение является стабильным и обычно не требует никакого демпфирования.

Канал поворота: Фактическое положение БПЛА можно измерить с помощью датчика, контролируемого магнитометром, и сравнить с заданным положением. Любая ошибка обрабатывается, как и раньше, для управления рулем БПЛА через привод рыскания. В этом случае, однако, может потребоваться демпфирование, чтобы БПЛА колебался в рыскании и, в крайнем случае, стабилизировался в этом режиме. Вероятность возникновения колебаний зависит от системы срабатывания и характеристик аэродинамического демпфирования БПЛА. Если требуется дополнительное затухание колебаний, оно может быть включено в результате дифференциации относительно времени сигнала гироскопа или, возможно, с большей легкостью путем включения гироскопа по скорости рыскания.

В свою очередь, если использовать только руль, самолет будет стремиться войти в штопор, если крыло не вернет его обратно в поток. Большинство БПЛА сконструированы таким образом, чтобы координированный поворот происходил естественным образом. В менее традиционных конфигурациях это может быть невозможно, и отклонение элеронов требуется пропорционально скорости поворота.

Канал высоты: Высота БПЛА определяется как его вертикальное расстояние над землей, которое измерено, например, барометром. Высота БПЛА, определяется по давлению и представляет собой высоту над уровнем моря, и это достигается путем измерения давления окружающего воздуха вне БПЛА и сравнения с атмосферным давлением на

среднем уровне моря. Либо можно использовать, экспериментальные данные от предыдущих испытаний.

Высота над уровнем моря более подходит для использования при прохождении больших расстояний на больших высотах, но у нее относительно низкая точность для малой высоты. Барометр не может реагировать на присутствие холмистого или горного ландшафта.

Работа с использованием дальномера подходит для операций с малой высотой и более короткой дальностью полета, когда самолет будет следовать контурам ландшафта. Это дает гораздо более точное измерение высоты, чем барометр.

Оба датчика могут использоваться в системе управления с наиболее подходящим датчиком, выбранным для данной фазы миссии.

Метод с нулевой погрешностью может использоваться для канала высоты с восхождением на заданную высоту, достигаемой при срабатывании отклонения вверх элеронов. Набор высоты требует большой тяги от двигателя, и БПЛА будет быстро терять скорость, если дроссель двигателя не будет быстро открыт. Если отклик двигателя на запрос канала управления скоростью недостаточен, то к приводу дроссельной заслонки следует подключить сигнал ошибки канала высоты. Это позволит увеличить мощность двигателя своевременно, чтобы предотвратить чрезмерную потерю воздушной скорости.

В дополнение к вышесказанному необходимо будет контролировать скорость набора высоты. Скорость набора высоты (или спуска) можно получить, дифференцируя изменение измеренной высоты по времени. Предел параметров должен быть установлен на допустимую скорость набора высоты (и спуска), чтобы предотвратить чрезмерную или недоступную мощность, требуемую от двигателя, и для предотвращения превышения предельного значения скорости движения самолета при спуске.

Значение предельных параметров, необходимых для защиты, будет варьироваться в зависимости от веса и скорости БПЛА. Для достижения максимальной производительности необходимо изменить значение этих параметров. Ввод скорости в уравнение довольно прост, но определение веса БПЛА в любой момент во время миссии может быть невозможным. Поэтому может потребоваться компромисс при настройке значения предельных параметров.

Скорость полета, скорость набора высоты и требуемая мощность двигателя неразрывно связаны. Требование увеличить скорость увеличит нагрузку на крыло и может начать подъем. Канал высоты может реагировать на это и требовать отклонения вниз, чтобы компенсировать высоту. Тем не менее, подобно тому, как происходит предварительная связь с дросселем двигателя от канала высоты, может потребоваться связать подъем с сигналом ошибки от канала скорости, чтобы предотвратить развитие любого большого отклонения высоты.

Таким образом, разработка даже относительно простой системы управления является серьезной задачей и потребует тщательного изучения и моделирования, прежде чем приступить к созданию прототипа. В настоящее время логика в системе будет цифровой и программной. До недавнего времени разработчикам БПЛА приходилось разрабатывать собственные системы управления, но с расширением отрасли возникли компании, специализирующиеся на создании унифицированных систем управления. Эти организации теперь могут работать с разработчиками БПЛА при создании подобных систем управления.

Несколько производных устойчивости при вычислении будут получены из расчетов и, в зависимости от степени новизны конфигурации БПЛА, также могут быть получены при испытании модели в аэродинамической трубе. Многие БПЛА имеют такой размер, что используемая модель может иметь преимущество, что позволяет избежать необходимости корректировки неточностей в масштабах, которые могут быть получены при испытаниях пилотируемых самолетов.

Одновременно БПЛА может быть спроектирован так, чтобы иметь минимальный отклик на воздушные порывы. Например, аэродинамические поверхности хвостового оперения будут уменьшены в размерах, так что они просто компенсируют направленную неустойчивость переднего фюзеляжа для обеспечения эффективной нейтральной направленной стабильности в целом. Предпочтительно меньшее хвостовое оперение будет полностью поворачиваться, чтобы сохранить адекватный контроль рыскания. Горизонтальные поверхности хвоста будут работать аналогичным образом, чтобы обеспечить стабильность нейтрального контроля.

Баланс крыла будет разумно сделать нулевым, чтобы предотвратить его реакцию на порывы в стороны. Однако, как описано, самолет полностью нестабилен и может по своему собственному желанию полностью или полностью перевернуться и продолжать блуждать в этих режимах.

Необходимо обеспечить пространственную привязку в этих режимах путем включения таких средств в систему управления. Обычно это делается путем добавления вертикального гироскопа положения к каналам тангажа и крена системы управления.

В дополнение к поддержанию контроля и устойчивости БПЛА, так же важно достичь этого для полезной нагрузки. Контроль над БПЛА необходим, чтобы направить сам БПЛА в нужную область, но будет бесполезен, если полезная нагрузка не будет надлежащим образом контролироваться. Последнее может быть достигнуто с использованием системы, которая является частью системы контроля БПЛА или с использованием отдельного модуля. Выбор, вероятно, будет зависеть от степени, в которой

контроль полезной нагрузки интегрирован с работой БПЛА.

Управление полезной нагрузкой включает в себя для большинства камер средство для точного направления прицельной линии на цель и сохранения ее стабильности. Первоначально это выполняется с помощью ручного направления с использованием приведения в действие нагрузки вокруг двух осей. Этот метод управления подходит для пространственно стабильного самолета.

Последующее поддержание прицельной линии на цели будет зависеть от гиостабилизации линии визирования, и возможно, с помощью системы распознавания фиксированных изображений в оптическом датчике или использования дифференциального GPS с вычислением, включающим GPS координаты цели и самолета в каждый момент времени. Другой контроль может включать в себя переход на распределяемые полезные нагрузки; контролировать датчики полезной нагрузки в режиме реального времени; изменение настроек оптических сенсоров; внесение корректировок в гиостабилизацию; инициирование, программ сканирования и т. д.

Интеграция систем управления полезной нагрузкой и управления летательными аппаратами, представляет собой летательную платформу с полезной нагрузкой. Один и тот же набор поворотных и вертикальных гироскопов, поддерживает контроль и стабилизацию как БПЛА, так и полезной нагрузки.

Система управляет двумя наборами координатных осей, таких как БПЛА и его агрегаты, несмотря на то, что последние закреплены внутри самолета. Таким образом, поисковая линия полезной нагрузки может указывать в одном направлении, в то время как самолет может летать в совершенно другом направлении.

Это средство позволяет работать с рядом полезных действий. Например, при прохождении большого пространства местности прицельная линия полезной нагрузки может быть запрограммирована для сканирования на диапазоне частот в диапазоне амплитуд по обе стороны от линии полета БПЛА, чтобы охватить большое поле зрения в разведывательных миссиях. Другая программа может потребовать непрерывного поворота на 360 градусов линии визирования.

Датчики системы управления, включают в себя вертикальные гироскопы, гироскопы поворота, гироскопы с угловой скоростью, когда это необходимо, датчики высоты и датчики воздушной скорости. Линейные акселерометры могут использоваться в различных вариантах. Отдельные датчики могут использоваться, как описано выше, или могут составлять часть инерционного измерительного блока.

Некоторые поставщики предлагают готовые системы управления или, по крайней мере, индивидуальные для отдельных вариантов. В каждом случае их качество точности, надежности, жизни, энергоснабжения, защиты окружающей

среды и массы будет иметь важное значение для конструкции систем БПЛА. Обычно, хотя и не всегда, стоимость увеличивается по мере увеличения спецификации производительности.

Датчики для измерения высоты над землей, включают в себя измеренное расстояние по импульсам синхронизации радио, лазерной или акустической энергии от передачи до возврата. Они отличаются по своей точности, в зависимости от их частоты и мощности, но обычно более точны, чем датчики давления, измеряющие высоту.

У лазерных систем могут возникнуть проблемы с нанесением повреждений глазам, и при их выборе и использовании должны быть приняты меры предосторожности. Они также могут потерять работоспособность при работе над неподвижной водой или некоторыми типами деревьев, когда энергия поглощается или отклоняется, так что возврат сигнала невозможен. Акустические системы обычно имеют меньшую дальность действия и также должны быть разделены по частоте от других источников шума.

Барометрические датчики для измерения высоты над уровнем моря менее точны, чем датчики высоты, и их необходимо отрегулировать, чтобы учитывать изменения атмосферы, которые происходят час за часом и от области к области. Однако в переходном полете на высоте это не представляет реальной проблемы и может быть подкреплено данными GPS. Эти датчики не подходят для точной работы на малой высоте, особенно в случае самолетов. Измерение статического давления воздуха с самолета сильно зависит от индуцированного воздушного потока вокруг самолета, направление которого также изменяется с помощью вертикальных или боковых маневров.

Для самолетов стандартная система приемлема при условии, что она удобно расположена для считывания статического давления либо как часть комбинированного блока перед любыми аэродинамическими помехами, либо как отдельное статическое отверстие в другом месте самолета.

Наличие взлетно-посадочной полосы является требованием для самолета в целях взлета или посадки, а также для нескольких типов операций, текущих или прогнозируемых, где требуется наблюдение с фиксированной точки.

Некоторые поставщики систем БПЛА утверждают, что самолёт автономно работал при выполнении миссии, когда он пролетел запрограммированный полет от взлета до посадки без дальнейших инструкций извне. Другие назвали бы этот вид деятельности просто автоматическим и сказали бы, что для автономности система должна включать элемент искусственного интеллекта. Другими словами, система должна быть в состоянии принимать собственные решения без вмешательства человека или предварительного программирования.

Основными системными критериями для автономии являются то, что они должны

обеспечивать более гибкую работу, поскольку оператор сообщает системе, что требуется от миссии, с гибкостью динамических изменений целей миссии, которые возможны в полете с минимальными изменениями. Это связано с уменьшением зависимости от критической скорости связи и пропускной способности связи, что, в свою очередь, снижает уязвимость системы к потерям связи, прерываниям или контрмерам. Цель состоит в том, чтобы операторы сосредоточились на поставленной задаче, а не на работе БПЛА.

#### Список литературы

1. Смирнов В.А. Разработка системы управления БПЛА на базе микроЭВМ с процессором семейства ARM11: выпускная квалификационная работа — М.— 2018. – С. 73.
2. Веремеенко К.К. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2009. – С. 556.