

УДК 004.93:629.7.05

Автоматизация процесса посадки малогабаритного беспилотного летательного аппарата в особых ситуациях

А.Г. Кузнецов

Аннотация

В работе рассматриваются вопросы автоматизации посадки малогабаритного беспилотного летательного аппарата (МБЛА). Автоматизация посадки предполагает организацию помощи оператору МБЛА с учетом текущего и прогнозируемого пространственного положения МБЛА. В качестве источника навигационной информации рассматривается система технического зрения.

Ключевые слова

беспилотный летательный аппарат; помощь оператору; техническое зрение; оценка собственных координат; особая ситуация.

Введение

Расширение области применения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (МБЛА), количества и качества решаемых ими задач требует повышения надежности их эксплуатации. В частности, повышения безопасности посадки. В большинстве реализованных способах посадки обеспечение заданной безопасности требует использования дополнительного наземного или бортового оборудования, что снижает мобильность использования комплекса МБЛА и его экономическую эффективность.

Отдельного внимания заслуживает посадка МБЛА в особых ситуациях. Под особыми ситуациями понимаются ситуации, возникающие в полете в результате воздействия опасных факторов [1]. К таким факторам относятся: сложные погодные условия (ветер, осадки, задымленность), отказ элементов бортового и/или наземного оборудования, ситуации,

вызванные изменением полетного задания и пр. При посадке в особых ситуациях вероятность аварии МБЛА существенно возрастает.

Повышение безопасности посадки и создание способов диагностики особых ситуаций позволит повысить эффективность эксплуатации МБЛА и сэкономить средства, направляемые на закупку дополнительных единиц техники.

В работе рассматриваются вопросы организации помощи оператору малогабаритного беспилотного летательного аппарата (МБЛА) на этапе посадки в особых ситуациях. В ходе выполнения работы в качестве МБЛА использовался беспилотный самолет, весом до 5 кг.

Посадка МБЛА

Необходимость посадки в случае особой ситуации обусловлена требованиями к сохранности МБЛА и спецоборудования, установленного на его борту.

Наибольшее распространение в настоящее время получили следующие способы посадки МБЛА:

- парашютная посадка;
- посадка в сеть или за трос;
- контролируемое падение;
- посадка по-самолетному [2].

Парашютная посадка в настоящее время является наиболее распространенной. Используя информацию от СНС, МБЛА входит в зону посадки, после чего выбрасывает парашют. Основным недостатком этого способа посадки – высокая аварийность.

Посадка в сеть (или за трос) обеспечивает максимальную точность посадки МБЛА т.к. отсутствует снос, вызванный ветром (как в случае парашютной посадки), или перелет (в случае самолетной). МБЛА выходит в заданную область, в которой установлены спецсредства. Область посадки ограничена площадью установки захватывающего оборудования (троса или сети). Ее главный недостаток в отсутствии возможности мобильного разворачивания сети или троса в нужном месте.

Посадка по принципу контролируемого падения. В этом случае МБЛА выходит в заданный район и начинает снижаться по спирали, используя информации от СНС. При приземлении аппарат разделяется на составные части (крылья, фюзеляж и пр.). Конструкция МБЛА позволяет собрать ЛА из составных частей заново.

Посадка по-самолетному может быть реализована в автоматическом или ручном режиме. Данная посадка обеспечивает более высокую эксплуатационную эффективность по

сравнению с другими способами посадки, в частности, за счет управления траекторией снижения МБЛА, отсутствия дополнительной нагрузки (парашюта) на борту или наземного оборудования. Кроме того, во многих случаях, посадка по-самолетному повышает безопасность посадки.

Таким образом, в ряде случаев посадка по-самолетному является наиболее целесообразной, а разработка средств, обеспечивающих такую посадку, позволит повысить эффективность применения МБЛА, в частности, при организации посадки в особых ситуациях.

Однако, для реализации автоматической самолетной посадки необходимо решить ряд сложных технических задач, а посадка в ручном режиме требует наличия квалифицированных операторов и устойчивой связи с бортом МБЛА.

Одним из важных направлений снижения требований к квалификации операторов и повышения безопасности посадки является разработка систем помощи оператору при организации автоматизированной посадки.

Под автоматизацией посадки подразумевается реализация методов и алгоритмов, направленных на поддержку действий оператора МБЛА в зависимости от конкретных условий полета.

Вариант автоматизированной посадки МБЛА на посадочную площадку, использующую в качестве ориентиров линии разметки, проиллюстрирован на рисунке 1.

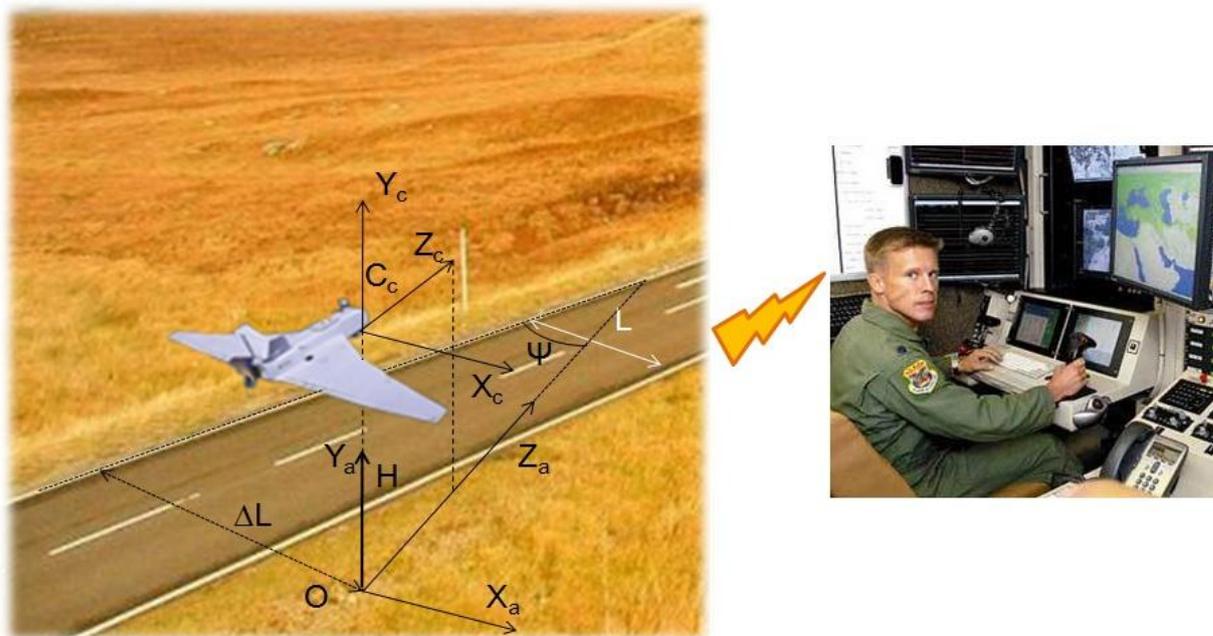


Рисунок 1. Автоматизированная посадка МБЛА

На рисунке 1:

$C_c X_c Y_c Z_c$ – система координат, связанная с т. фокуса видеокамеры, установленной на борту МБЛА;

L – ширина посадочной полосы;

$H, \Delta L, \psi$ - оцениваемые параметры. Соответственно высота, боковое смещение и угол курса относительно сплошной линии разметки посадочной площадки.

Относительно известной точки посадки в вычислителе строится глиссада посадки МБЛА.

По экспертным оценкам, полученным в ходе выполнения экспериментальных полетов на различных МБЛА рассматриваемого типа, ошибки отклонения от заданной глиссады посадки должны быть ограничены значениями, приведенными в таблице 1.

Таблица 1. Требуемые точности посадки

Категория посадки	Высота [м]	Требуемая точность по отклонению [м]	
		Боковому ($2\sigma_{1\text{тр}}$)	Вертикальному ($2\sigma_{\text{Нтр}}$)
I	10	± 2.6	± 0.8
II	5	± 1.3	± 0.45
III	2	± 0.4	± 0.1

Таким образом, точность оценки положения МБЛА, обеспечивающая безопасность посадки, должна удовлетворять следующим условиям:

$$\sigma_{1\text{тр}}(H) \geq \sigma_1(H) \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{Нтр}}(H) \geq \sigma_{\text{H}}(H),$$

где H – высота полета, σ_1 и σ_{H} - среднеквадратические отклонения (СКО) фактических измерений положения МБЛА в боковом и продольном каналах соответственно.

Значения требуемой точности по отклонению вдоль всей траектории посадки формируют область допустимых отклонений от глиссады посадки (ОДОГП).

С учетом вышеизложенного предлагается следующая методика построения системы организации помощи оператору:

1. Оценка положения МБЛА относительно выбранных ориентиров на посадочной площадке с использованием методов обработки видовой информации;
2. Оценка текущего и прогнозируемого пространственного положения МБЛА относительно границ ОДОГП и учетом степени «опасности» такого положения;
3. Формирование рекомендаций оператору по удержанию МБЛА внутри ОДОГП.

Оценка координат МБЛА относительно посадочной площадки

Основная информация, необходимая оператору при выполнении посадки – положение МБЛА относительно посадочной площадки. В существующих системах управления МБЛА оператору доступна информация о высоте, скорости, угловой ориентации, которая поступает от ИНС и/или СНС, а также видеoinформация с установленной на борту МБЛА видеокамеры.

Однако эти данные, в ряде случаев, не обеспечивают условий для принятия оператором обоснованных решений в заданное время. В частности, используемые в настоящее время на МБЛА СНС (GPS/ГЛОНАСС) обеспечивают точность определения координат с ошибками в горизонтальном канале до 6.3 м и до 13.6 в вертикальном [3], что не соответствует требованиям, указанным в таблице 1, а получаемая видовая информация требует от оператора проведения дополнительной оценки координат МБЛА относительно посадочной полосы и прогнозирования изменения ситуации.

В связи с этим, в работе рассматривается возможность высокоточной оценки координат МБЛА с использованием системы технического зрения (СТЗ) [4].

В результате обработки СТЗ видовой информации определяются следующие навигационные параметры:

- Высота над посадочной площадкой;
- Боковое смещение относительно посадочной площадки;
- Угол курса относительно посадочной площадки.

В качестве объектов наблюдения в работе рассматриваются линии разметки посадочной полосы, контрастные метки (например, 3 лампы).

Таким образом, требуется оценить положение МБЛА относительно линий разметки или контрастных меток, а СТЗ должна обеспечить выделение этих объектов на принимаемом изображении.

В зависимости от выбранного типа ориентиров используются различные методы обработки видовой информации. Так при использовании в качестве ориентиров отрезков прямых линий используются следующие алгоритмы:

- Дифференциальный оператор Собеля выделения контуров;
- Метод цепного кода для выделения отрезков линий;
- Методы анализа линий.

В случае использования ярких контрастных ориентиров используются методы сегментации изображений и выделения ориентиров.

На рисунках 2 и 3 показаны этапы использования алгоритмов обработки видовой информации соответственно для выделения линейных ориентиров и контрастных меток.



Рисунок 2. Выделение границ посадочной площадки



Рисунок 3. Выделение контрастных ориентиров

Задача оценки параметров положения камеры по изображению в фотограмметрии известна как задача внешнего ориентирования (в робототехнике – «преобразование взгляда») [5]. Задача внешнего ориентирования позволяет оценить связь системы координат камеры с «внешней» системой координат, связанной с объектом наблюдения.

В работе предложен метод оценки координат МБЛА относительно внешних ориентиров, основанный на использовании фотокамеры с известными внутренними параметрами (фокусное расстояние, размер матрицы, размер пикселя).

Необходимым условием решения задачи оценки внешней ориентации является знание расстояния между ориентирами и углов ориентации камеры. В случае, если камера жестко закреплена на МБЛА, угловое положение камеры складывается из углов установки камеры и углов крена и тангажа носителя.

Оценка координат в работе реализуется в соответствии со следующей схемой.

На рисунке 4 показана глобальная система координат. В плоскости Ox_aZ_a расположены параллельные прямые A и B , соответствующие линиям дорожной разметки. Треугольниками отмечены контрастные ориентиры, которые можно использовать вместо линий разметки. Точка C_c совпадает с точкой фокуса фотокамеры. Расстояние между прямыми линиями W_0 – известно. Измеряемый угол между вертикальной осью OY_a и прямой

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{f}{\cos(\mu)(y'_1 - y'_0)} \right)$$

Координаты МБЛА относительно линий А и В могут быть рассчитаны по формулам:

$$k = \frac{\operatorname{tg}(\varphi_{A1}) \sin(\mu_{A1}) - \operatorname{tg}(\varphi_{A2}) \sin(\mu_{A1})}{\operatorname{tg}(\varphi_{A1}) \cos(\mu_{A1}) - \operatorname{tg}(\varphi_{A2}) \cos(\mu_{A1})}, \quad (4)$$

$$H = \frac{W_0}{\cos(\operatorname{arctg}(k))(\operatorname{tg}(\varphi_{B1}) \sin(\mu_{B1}) - \operatorname{tg}(\varphi_{A1}) \sin(\mu_{A1}) - k[\operatorname{tg}(\varphi_{B1}) \cos(\mu_{B1}) - \operatorname{tg}(\varphi_{A1}) \cos(\mu_{A1})])},$$

$$\Psi = \operatorname{arctg}(k),$$

$$\Delta L = (H \operatorname{tg}(\varphi_1) \sin(\mu_{A1}) - k H \operatorname{tg}(\varphi_1) \cos(\mu_{A1})) \cos(\Psi).$$

Индексы при углах μ и φ обозначают прямую и взятую на ней точку.

Если положение камеры не горизонтально, то учет угловой ориентации камеры осуществляется и использованием зависимостей:

$$\begin{aligned} x'' &= x''' \cos(\beta) + y''' \sin(\beta) \\ y'' &= -x''' \sin(\beta) + y''' \cos(\beta) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \varphi'' &= \operatorname{arctg} \left(\frac{f}{y''_1 - y''_0} \right) \\ x' &= x'' \end{aligned} \quad (6)$$

$$y' = f \operatorname{tg} \left(\alpha + \frac{\pi}{2} - \varphi'' \right)$$

x''' , y''' – координаты точки М с системе координат ПЗС матрицы, имеющей наклон в продольном и боковом каналах.

Таким образом, если на изображении выделены линейные ориентиры в виде отрезков прямых линий, параллельных в предметной области, или 3 контрастных ориентира, то решение задачи внешней ориентации возможно. Для этого необходимо знать расстояние между параллельными линиями (в случае контрастных ориентиров), или, в случае с контрастными ориентирами, в качестве расстояния использовать величину расстояния между мнимыми параллельными линиями, которые можно построить через эти ориентиры.

Знание положения МБЛА относительно посадочной площадки позволяет согласовать положение МБЛА с требуемым положением по величине допустимого отклонения от глиссады посадки (таблица 1).

Формирование рекомендаций оператору МБЛА

4. Внезапное изменение полетного задания, требующее посадки МБЛА.
5. Удаленность оператора от посадочной площадки.

Таким образом, оператор уже находится в условиях особой ситуации, явившейся причиной экстренной посадки МБЛА. В этом случае каждая ошибка с его стороны может оказаться критичной для успешного выполнения посадки.

Предотвратить ошибки оператора или ликвидировать их последствия призваны формируемые подсказки.

В работе рассматриваются три вида подсказок:

- Напоминания;
- Рекомендации;
- Команды.

Каждая подсказка соответствует своему классу ОС. В работе рассматриваются следующие классы ОС:

- Усложнение условий полета;
- Опасная ситуация;
- Аварийная ситуация.

Необходимость разделения подсказок по типу на рекомендации и команды обусловлена различным временем реакции оператора на каждую из них.

Если рассмотреть временную диаграмму (рисунок б), видно, что при выполнении команды оператор не тратит время на анализ полученной информации, а сразу переходит к реализации управления.



Рисунок 6. Временная диаграмма для типов подсказок «рекомендация» и «команда».

По своему назначению, рекомендации призваны скорректировать движение МБЛА внутри ОДОГП, в то время как команды предполагают кардинальное изменение траектории движения МБЛА, вплоть до ухода на второй круг.

Задача реализации подсказок включает в себя расчет оптимального времени подачи подсказки, рассмотрение различных способов формирования подсказок. При расчете оптимального времени подачи подсказки учитываются время анализа ситуации оператором, время принятия решения, время реализации управления и пр..

Формирование подсказок включает в себя три этапа:

1. Оценка состояния бортового оборудования;
2. Прогноз положения МБЛА;
3. Анализ ситуации, формирование подсказок.

Формируемые подсказки призваны обратить внимание оператора на необходимость, например, своевременного переключения переключателей, на необходимость сместиться внутрь ОДОГП и, в крайнем случае, уйти на второй круг.

Под анализом ситуации подразумевается вычисление количества времени, которым обладает оператор до момента выхода МБЛА из ОДОГП. По результатам анализа дефицита времени принимается решение о классе текущей ситуации. Если ситуация классифицирована как аварийная, возможны два варианта команд – «уйти на второй круг», или команда выполнить какие-либо управляющие действия по удержанию МБЛА внутри ОДОГП. В случае штатной ситуации, в зависимости от прогнозируемого времени выхода из ОДОГП, может быть подана рекомендация.

Принятие решения продолжать посадку или уйти на второй круг предполагает решение задачи классификации, в которой присутствует только два возможных класса ситуации – штатная ситуация (продолжаем посадку) и аварийная ситуация (уход на второй круг). В зависимости от полученного решения формируется свой тип команды – это может быть либо команда, указывающая тип требуемого действия, либо команда «уйти на второй круг». Для решения задачи классификации существует несколько известных критериев, среди которых наибольшее распространение получили – критерий минимального риска Байеса, критерий идеального наблюдателя Зингерта-Котельникова, критерий Неймана-Пирсона и др.

Проведенное в рамках выполнения работы сравнение критериев распознавания показало, что, если определить априорные значения вероятностей обнаружения и рисков затруднительно, то предпочтительнее использовать критерий классификации Неймана-Пирсона.

Этот критерий обеспечивает получение максимальной величины условной вероятности правильного обнаружения $P(Y/s_1)$ при заданной величине условной вероятности ложной тревоги α .

В соответствии с рассматриваемым критерием требования к процессу обнаружения имеют вид

$$\min \alpha \text{ (или } \beta), \text{ при } \beta\alpha \leq \beta_0 \text{ (или } \alpha \leq \alpha_0),$$

где α_0, β_0 – заданные (предельно допустимые) значения ошибок. Пороговое значение Y_0 находится из выражения

$$\alpha_0 = \int_{Y_0}^{\infty} p(Y | s_1) dY$$

или

$$\beta_0 = \int_{-\infty}^{Y_0} p(Y | s_1) dY$$

Для разделения ОС на классы требуется ввести определенный критерий оценки опасности ситуации. В работе используется время $T_{np-\partial.o}$ от момента получения прогноза до попадания в т.н. точку невозврата. Точка невозврата характеризуется такими положением и вектором скорости, при которых МБЛА неизбежно выйдет из ОДОГП, за пределами которой выполнить посадку невозможно.

В общем виде критерий имеет вид:

$$T_{np-\partial.o} > T_{рек} + T_{o.c.} + T_{n.p.} + T_{p.y.}, \quad (7)$$

где $T_{o.c.}$ – время приема информации и анализа ситуации оператором; $T_{n.p.}$ – время принятия решения оператором; $T_{p.y.} = T_y + T_{об}$ – время реализации управления, T_y – время реализации оператором управляющих действий, $T_{об}$ – время реакции объекта управления (в нашем случае МБЛА), $T_{рек}$ – время анализа ситуации при рекомендации [6].

Таким образом, для проверки условия (7) необходимо иметь априорную информацию о значениях:

$T_{np-\partial.o}$ – времени прогноза (диагностирования), которое зависит от вида функций, связывающих значения измеряемых факторов (в дальнейшем, признаков), с фактом появления недопустимой ОС, характером и скоростью развития ОС;

$T_{o.c.}$ и $T_{n.p.}$ – времени приема информации, анализа ситуации оператором, а также времени принятия решения, которые определяются конкретными условиями развития ситуации и индивидуальными психофизиологическими особенностями оператора;

T_y – времени реализации управляющих действий, которое определяется характером выполняемых действий и индивидуальными психофизиологическими особенностями оператора;

$T_{об}$ – времени реакции объекта управления, которое определяется особенностями бортового оборудования и характеристиками объекта управления.

Условие $T_{np-d.o} = T_{p.y.}$ соответствует предельному значению критерия, когда посадку еще можно выполнить успешно. В случае $T_{np-d.o} < T_{p.y.}$ успешное выполнение посадки невозможно и подается команда «уйти на второй круг».

Граница начала подачи команд определяется соотношением:

$$T_{np-d.o} = T_{o.c.} + T_{n.p.} + T_{p.y.} \quad (8)$$

Эта же граница является окончанием области подачи рекомендаций.

Начальная граница области выдачи рекомендаций определяется следующим образом. Примем, что время распознавания непредвиденной некритической ситуации оператором может достигать 3-х секунд [6]. Это время обусловлено более подробным анализом, проводимым оператором, по сравнению с предвиденной ситуацией. Такое же время требуется оператору для анализа ситуации при выдаче рекомендации ($T_{рек}$). В связи с этим будем использовать $T_{рек} = 3$ с для расчета критерия $T_{np-d.o}$ на границе области начала подачи рекомендаций.

На рисунке 7 приведены экспериментальные траектории посадки в вертикальной плоскости, полученные с помощью полунатурного моделирования и характеризующие влияние подсказок оператору на его стиль управления МБЛА.

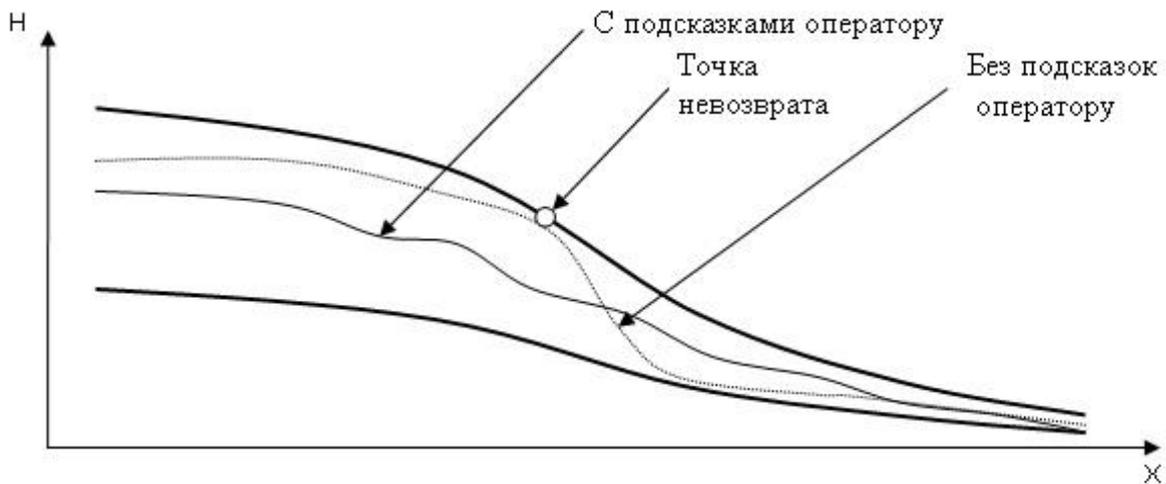


Рисунок 7. Характер управления с подсказками и без подсказок оператору.

Из рисунка видно, что организация подсказок оператору делает траекторию посадки МБЛА более гладкой и близкой к заданной глиссаде.

Общая структура системы формирования подсказок показана на рисунке 8.

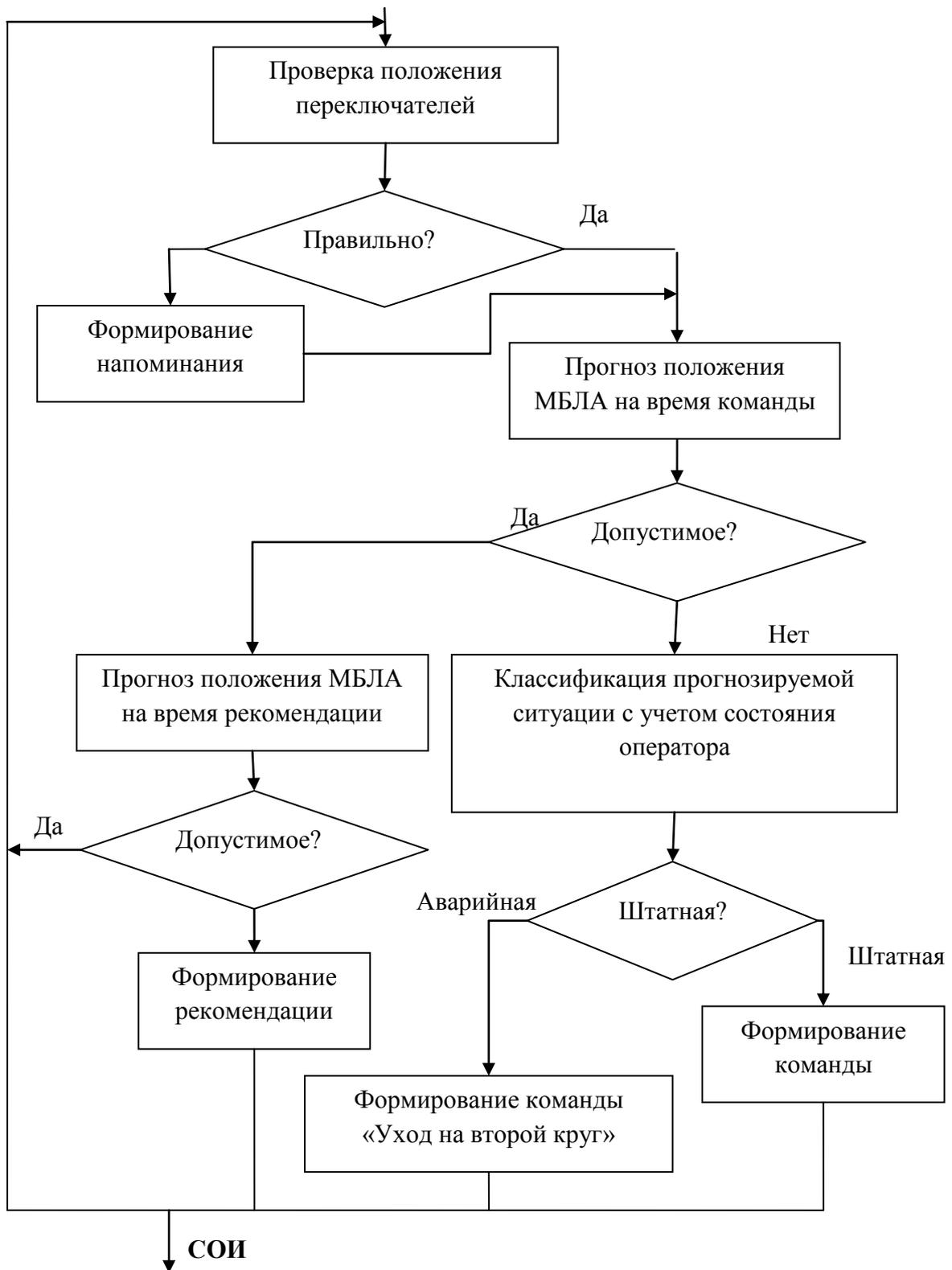


Рисунок 8. Структура алгоритма формирования подсказок оператору

Предложенный вариант системы подсказок должен помогать удерживать МБЛА внутри ОДОГП на заданной скорости. С точки зрения удобства восприятия оператором подсказок, наиболее эффективный способ – отображать на мониторе оператора проекции сечений ОДОГП. Таким образом, оператор наглядно может оценить положение МБЛА относительно глиссады посадки и принять необходимые действия для коррекции его положения (рисунок 9).



Рисунок 9. Представление подсказок оператору

Необходимо отметить, что простое отображение проекций ОДОГП не учитывает степени опасности для различных положений МБЛА. Например, точно выполнить посадку, находясь на границе ОДОГП значительно труднее, чем при нахождении внутри нее.

При приближении к границе ОДОГП оператору подается подсказка типа «рекомендация» в виде, например, зеленой стрелки, указывающей требуемое смещение. Постепенное смещение МБЛА к краю ОДОГП, проекции сечений которого отображаются на мониторе оператора, сделают появление подсказки в виде стрелки ожидаемой. Таким образом, уменьшается вероятность неадекватной реакции оператора на появившуюся подсказку.

При повышении уровня текущей опасности подсказка типа «команда» может быть выражена в виде красной стрелки с сопутствующим звуковым сигналом. В этом случае оператор обязан выполнить рекомендуемые действия, чтобы обеспечить успешное выполнение посадки и/или сохранить МБЛА. В этом случае оператор должен как можно быстрее переместить МБЛА в требуемую сторону.

Команда – «уйти на второй круг», подается, когда выполнить посадку из текущего положения с текущим вектором скорости невозможно.

Экспериментальное исследование разработанных алгоритмов

Проводимы эксперименты призваны подтвердить или опровергнуть эффективность использования формируемых оператору МБЛА рекомендаций, а также оценить точность и быстродействие алгоритмов оценки внешней ориентации.

Для исследования точности работы алгоритмов оценки координат МБЛА использовался набор тестовых снимков с известным положением фотокамеры относительно линий разметки. Часть результатов эксперимента показана в таблице 2.

Таблица 2. Исследование точности алгоритма оценки координат

N foto	L	H	Ψ	L_e	H_e	Ψ_e	L%	H%	$\Delta\Psi$
1	382	845	0	364	865	-2.6	4.712042	2.366864	2.6
2	382	1110	0	360	1088	-1.3	5.759162	1.981982	1.3
3	382	845	10	366	855	9.3	4.188482	1.1834	0.7
4	382	1110	15	379	1118	16.8	0.785	0.720721	1.8
5	757	845	0	760	892	1.2	0.396301	5.56213	1.2
6	757	845	-10	766	873	-8.6	1.188904	3.313609	1.4
7	757	845	15	731	853	14.2	3.434613	0.946745	0.8
8	757	1110	0	734	1109	0	3.038309	0.09009	0
9	757	1110	15	726	1135	14.6	4.095112	2.252252	0.4
10	1080	845	0	1093	860	0	1.203703	1.775147	0

В таблице – L, H, Ψ - истинные значения бокового смещения, высоты и угла курса соответственно; L_e , H_e , Ψ_e – оценки величин L, H и Ψ , полученные с использованием разработанного программно-математического обеспечения; L%, H%, $\Delta\Psi$ - ошибки оценки ориентации.

Из таблицы видно, что средняя ошибка оценки бокового смещения и высоты не превышает 5%, ошибка оценки угла курса составляет не более 3°, что удовлетворяет предъявляемым требованиям по точности, показанным в таблице 1.

Исследование быстродействия разработанных алгоритмов проводилось в условиях, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации МБЛА. Во время

эксперимента с видеокамеры, установленной на автомобиле (рисунок 10), видеоинформация (рисунок 11) для дальнейшей обработки передавалась в цифровой сигнальный процессор ADSP BF-561. Результаты вычислений регистрировались с помощью специально разработанного программного обеспечения.



Рисунок 10. Натурный эксперимент обработки видовой информации



Рисунок 11. Кадр видеоинформации

Часть результатов исследования быстродействия алгоритмов оценки ориентации, среди которых наиболее вычислительно затратные – алгоритмы выделения линий, показана в таблице 3. В ходе эксперимента среднее время обработки одного кадра видеоинформации составило не более 0.08 сек.. Таким образом, быстродействие алгоритма соответствует предъявляемым требованиям и позволяет оператору вырабатывать управляющие действия в реальном времени.

Таблица 3. Время обработки одного кадра видеоинформации

Time (сек)	Time (сек)	Time (сек)	Time (сек)
0.056682	0.082098	0.069602	0.055527
0.056215	0.082267	0.068506	0.055247
0.061313	0.071022	0.080182	0.055298
0.066877	0.082185	0.105397	0.062868
0.082182	0.082183	0.071823	0.055903
0.071035	0.070994	0.082314	0.055814
0.071032	0.070983	0.09508	0.055824

На рисунке 12 показан результат эксперимента по исследованию влияния подсказок на качество управления при посадке.

Эксперимент проводился с использованием программного авиасимулятора.

Траектория посадки с использованием автоматически генерируемых подсказок представлена на рисунке 12а. Соответствующая ей по начальным условиям моделирования (высота, скорость ветра и пр.) траектория посадки без подсказок оператору показана на рисунке 12б. Сравнение результатов показывает, что в случае использования подсказок, траектория посадки большей частью находится внутри ОДОГП, в то время как при их отсутствии оператору не удалось обеспечить указанные требования по точности.

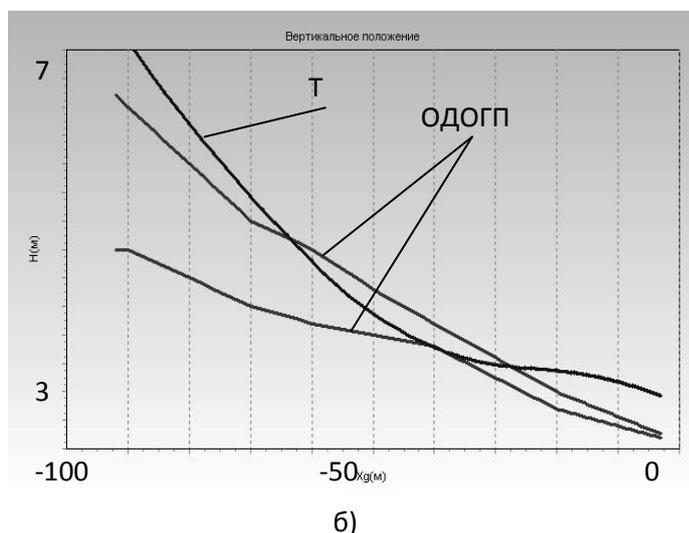
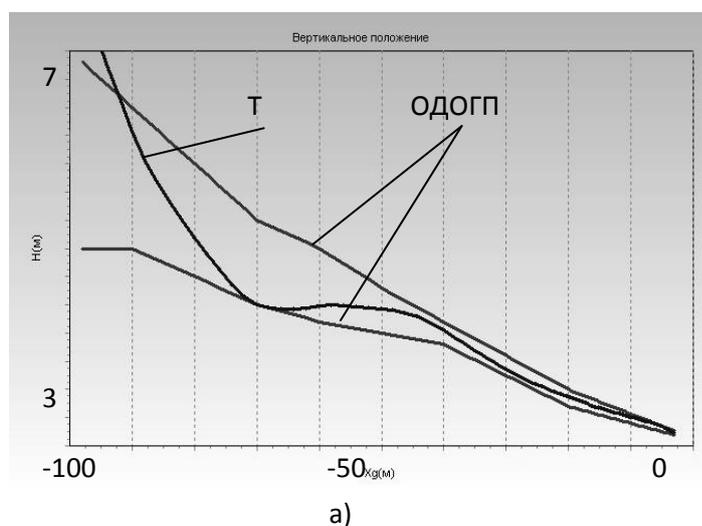


Рисунок 12. Траектории посадки МБЛА (а – с рекомендациями оператору, б – без рекомендаций оператору)

Заключение

Предложенный в работе способ организации посадки МБЛА с участием оператора позволит повысить сохранность МБЛА в особых ситуациях, сэкономить средства, направляемые на закупку дополнительных единиц техники.

В ходе выполнения работы:

- Сформулирован подход к организации автоматизированной посадки и помощи оператору МБЛА в особых условиях;
- Предложен вариант построения «Системы формирования подсказок» оператору, включающий методику оценки координат МБЛА относительно границ посадочной полосы, алгоритм обработки видовой информации, позволяющий выделить границы посадочной полосы на изображении, решение задачи организации помощи оператору МБЛА.

В рамках задачи оценки координат МБЛА относительно посадочной полосы выведены зависимости, позволяющие оценить собственное положение относительно двух линейных ориентиров. Предложенный метод является универсальным и позволяет использовать указанные зависимости для случаев оценки собственного положения относительно одного линейного и точечного ориентиров, а также трех точечных ориентиров.

Экспериментальные исследования подтвердили эффективность использования разработанных алгоритмов обработки изображений и оценки ориентации МБЛА. Эксперимент по оценке эффективности «Системы формирования подсказок» показал, что использование подсказок оператору обеспечивает точность выполнения посадки в соответствии с требованиями, приведенными в таблице 1.

Библиографический список

1. Приказ министерства обороны РФ № 275 от 24 сентября 2004 г. «об утверждении федеральных авиационных правил производства полетов государственной авиации»;
2. <http://www.popmech.ru/article/5811-kak-posadit-besplotnik/>
3. Веремеенко К.К., Желтов С.Ю., Ким Н.В. и др. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. Под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. -556
4. N.V. Kim, Y.M. Hyun and H.K. Yang. Performance analysis of aircraft automatic landing system based on surface image processing. Peocedings WCSE/UKC 2002, Seoul, 2002.
5. Б.К.П. Хорн. Зрение роботов: Пер с англ. – М.: Мир, 1989. – 487 с.
6. Смоляров А.М., Системы отображения информации и инженерная психология. Учебн. пособие. – М.:Высш. школа, 1982. – 272 с., ил.

Сведения об авторах

Кузнецов Андрей Григорьевич, аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета); e-mail: kag2006@mail.ru