

УДК 621.396

И. В. БАРЫШЕВ, П. А. ВАВРЕНЮК*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина***РАДИОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЫ
В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Рассматривается метод посадки летательного аппарата на необорудованные штатными радиотехническими средствами рабочие поверхности взлетно-посадочной полосы в чрезвычайных ситуациях. Для решения задачи управления движением летательного аппарата по программной траектории предлагается математическая модель с использованием поверхностей положения с вертикальной образующей. Спроектирована система приема и передачи данных между радиолокационными ответчиками и радиолокационной станцией летательного аппарата, приведены временные диаграммы работы данной системы. Для проверки возможной реализации процедуры посадки летательного аппарата разработано программное средство на языке Java.

Ключевые слова: радионавигация, необорудованные аэродромы, посадка летательного аппарата, программное моделирование, взлетно-посадочная полоса, поверхности положений с вертикальной образующей.

Введение

Значительное внимание во всем мире уделяется задачам навигации и управления движением всепогодной авиации. Одной из сложных задач управления воздушным движением является навигационное обеспечение безопасной посадки. В чрезвычайных ситуациях возникает необходимость в короткие сроки создать условия надежной посадки летательных аппаратов на необорудованные штатными радиотехническими средствами рабочие поверхности. Одной из главных проблем такого использования рабочих поверхностей является навигационное обеспечение посадки летательного аппарата (ЛА), в том числе и в сложных метеоусловиях. Это обуславливает необходимость учитывать основные факторы, определяющие задачи развития систем траекторного управления посадкой ЛА. Значительное внимание уделяется учету разнообразия траекторий захода на посадку и приземления.

Процесс посадки ЛА, на сегодняшний день, реализуется путем стабилизации жестко заданной линии снижения. Параметры глиссады в значительной степени обуславливаются параметрами примененных измерительных средств.

Актуальность темы определяется необходимостью совершенствования систем навигации и управления ЛА, в связи с расширением сферы применения ЛА и повышением требований к качеству, мобильности систем и своевременности информационно-навигационного обеспечения на этапе посадки ЛА на рабочую поверхность взлетно-посадочной полосы (ВПП).

Под "необорудованными штатными радиотехническими средствами рабочей поверхности ВПП" понимают горизонтальную площадку местности, необходимых и достаточных размеров, соответствующих определенным стандартам и имеющей лишь бетонную или грунтовую ВПП, пригодную для взлета и посадки ЛА.

При определении местоположения объектов на плоскости или в пространстве используются линии или поверхности положения, соответствующие хорошо известным методам пеленгации [1].

Большинство методов управления требуют определения положения объекта в пространстве и базируются на классических методах определения положения. Некоторые задачи не требуют определения местоположения в пространстве, для их решения достаточно определения положения объекта на плоскости. К таким задачам относится и управление движением ЛА по программной траектории. Для решения такой задачи удобно воспользоваться методами определения положения с использованием поверхностей положения с вертикальной образующей (ППВО) [2, 3].

Метод посадки ЛА

Для получения уравнений в пространстве состояний дискретной системы управления посадкой летательного аппарата (УПЛА) по курсу, можно использовать ППВО. Одним из возможных вариантов формирования ППВО является метод, основанный на применении разности квадратов расстояний. Для этого обратимся к рисунку 1 [4, 5].

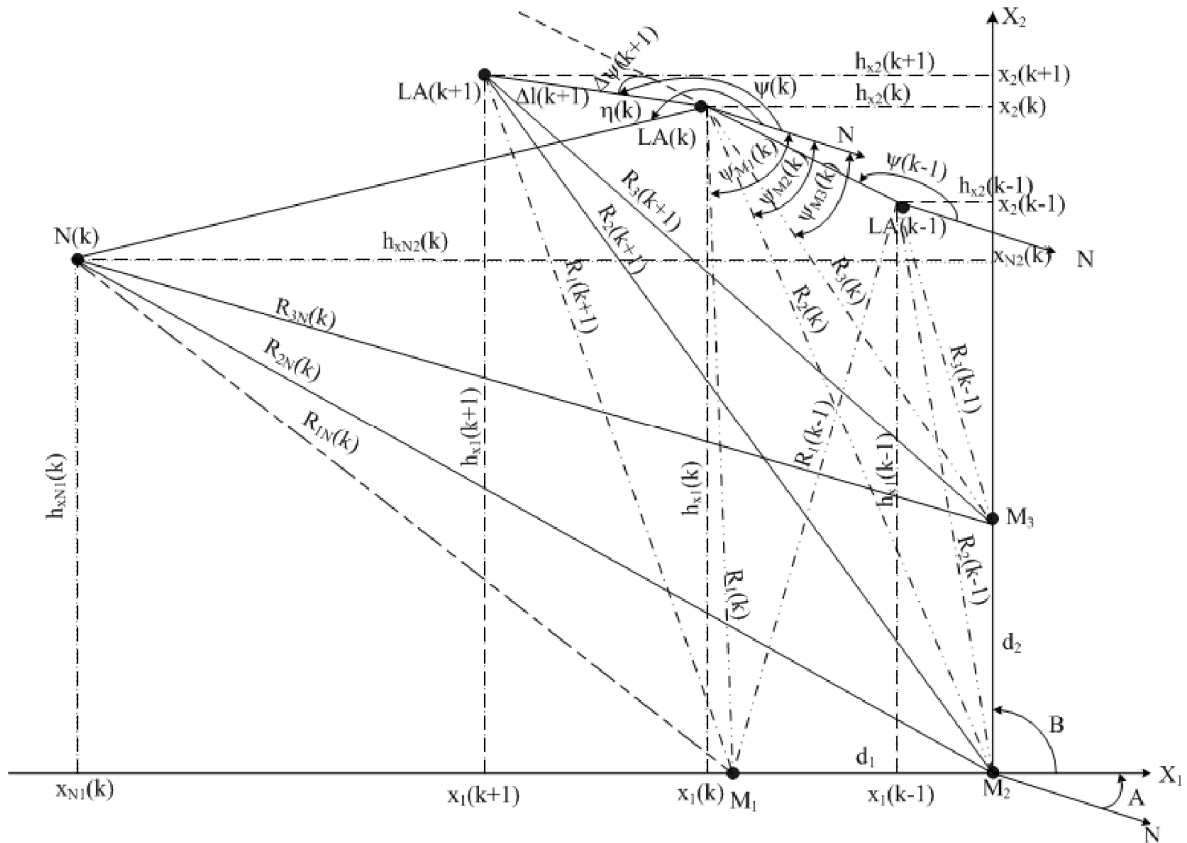


Рис. 1. Динамика УПЛА по курсу методом пропорциональных приращений

На рисунке 1 изображены:

- радиолокационные ответчики (РЛО) (M_1, M_2, M_3);
- $LA(k-1), LA(k), LA(k+1)$ - положение ЛА в дискретные моменты времени, где $k = 0, 1, 2 \dots$;
- $N(k)$ - положение k -й программной точки;
- $R_{1N}(k), R_{2N}(k), R_{3N}(k)$ - наклонные дальности $N(k)$ - программной точки относительно соответствующих измерителей;
- $R_1(k), R_2(k), R_3(k)$ - наклонные дальности ЛА относительно соответствующих измерителей;
- A - азимут базы M_1M_2 ;
- B - азимут базы M_2M_3 ;
- X_1 - ось, которая совпадает с направлением базы M_1M_2 ;
- X_2 - ось, которая совпадает с направлением базы M_2M_3 ;
- $x_2(k-1); x_2(k); x_2(k+1)$ - проекция положения ЛА на ось X_2 ;

- $x_{1N}(k), x_{2N}(k)$ - проекции положения точки $N(k)$ на ось X_1 и на ось X_2 ;
- $x_1(k-1); x_1(k); x_1(k+1)$ - проекция положения ЛА на ось X_1 ;
- $\psi(k)$ - угол, задающий направление движения ЛА по курсу, который характеризует направление вектора скорости ЛА относительно направления на север. При этом угол скольжения для данной задачи подразумевается столь малым, что им можно пренебречь;
- $\Delta l(k)$ - расстояние, пройденное ЛА за время $\Delta t = t(k) - t(k-1)$;
- $h_{x_1}(k-1), h_{x_1}(k), h_{x_1}(k+1), h_{x_2}(k-1), h_{x_2}(k), h_{x_2}(k+1)$ - дополнительные параметры положения ЛА относительно осей X_1 и X_2 в дискретные моменты времени k ;
- $h_{x_{1N}}(k), h_{x_{2N}}(k)$ - дополнительный параметр положения $N(k)$ относительно осей X_1 и X_2 ;

– $\eta(k)$ – угол, характеризующий положение линии визирования ЛА – $N(k)$ на плоскости в момент времени k .

Измерения, проводимые бортовой радиолокационной станцией (БРЛС) ЛА, обеспечивают получение текущих расстояний от ЛА до РЛО $R_1(k), R_2(k), R_3(k)$, на основании которых бортовой вычислитель определяет текущие значения

$$P_1(k) = R_1^2(k) - R_2^2(k), \quad P_2(k) = R_2^2(k) - R_3^2(k)$$

и

$$P_{1N}(k) = R_{1N}^2(k) - R_{2N}^2(k),$$

$$P_{2N}(k) = R_{2N}^2(k) - R_{3N}^2(k),$$

где $P(k)$ – это разность квадратов расстояний в момент времени k . По направлению базы M_1M_2 , отсчеты параметра $x_1(k)$ проводятся относительно M_2 (вправо $x_1(k) > 0$, влево $x_1(k) < 0$), по направлению базы M_2M_3 отсчет величины $x_2(k)$ проводится также относительно M_2 (вправо $x_2(k) > 0$, влево $x_2(k) < 0$).

В каждый момент времени известны величины «больших» разностей:

$$P_1(0) = R_1^2(0) - R_2^2(0), \dots,$$

$$P_1(k-1) = R_1^2(k-1) - R_2^2(k-1),$$

$$P_1(k) = R_1^2(k) - R_2^2(k);$$

$$P_2(0) = R_2^2(0) - R_3^2(0), \dots,$$

$$P_2(k-1) = R_2^2(k-1) - R_3^2(k-1),$$

$$P_2(k) = R_2^2(k) - R_3^2(k);$$

$$P_{1N}(0) = R_{1N}^2(0) - R_{2N}^2(0), \dots,$$

$$P_{1N}(k-1) = R_{1N}^2(k-1) - R_{2N}^2(k-1),$$

$$P_{1N}(k) = R_{1N}^2(k) - R_{2N}^2(k);$$

$$P_{2N}(0) = R_{2N}^2(0) - R_{3N}^2(0), \dots,$$

$$P_{2N}(k-1) = R_{2N}^2(k-1) - R_{3N}^2(k-1),$$

$$P_{2N}(k) = R_{2N}^2(k) - R_{3N}^2(k).$$

Эти параметры можно связать с геометрическими величинами, которые обозначены на рис. 1

$$\left. \begin{aligned} P_1(0) &= d_1^2 + 2d_1x_1(0), \dots, \\ P_1(k-1) &= d_1^2 + 2d_1x_1(k-1), \\ P_1(k) &= d_1^2 + 2d_1x_1(k); \\ P_2(0) &= 2d_2x_2(0) - d_2^2, \dots, \\ P_2(k-1) &= 2d_2x_2(k-1) - d_2^2, \\ P_2(k) &= 2d_2x_2(k) - d_2^2; \\ P_{1N}(0) &= d_1^2 + 2d_1x_{1N}(0), \dots, \\ P_{1N}(k-1) &= d_1^2 + 2d_1x_{1N}(k-1), \\ P_{1N}(k) &= d_1^2 + 2d_1x_{1N}(k); \\ P_{2N}(0) &= 2d_1x_{2N}(0) - d_2^2, \dots, \\ P_{2N}(k-1) &= 2d_1x_{2N}(k-1) - d_2^2, \\ P_{2N}(k) &= 2d_1x_{2N}(k) - d_2^2. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где d_1 и d_2 – базовые расстояния M_1M_2 и M_2M_3 соответственно. Их нужно однократно вычислить и занести в запоминающее устройство как постоянные величины. Рассмотрим понятие «больших» разностей, где «большая» разность относительно базы M_1M_2 – это расстояние между проекцией положения ЛА на ось X_1 и проекцией положения программной точки на ось X_1 ; «большая» разность относительно базы M_2M_3 – это расстояние между проекцией положения ЛА на ось X_2 и проекцией положения программной точки на ось X_2 . Введем понятие «малых» разностей, где «малая» разность относительно базы M_1M_2 – это расстояние между проекциями положения ЛА на ось X_1 в $(k-1)$ и k моменты времени; «малая» разность относительно базы M_2M_3 – это расстояние между проекциями положения ЛА на ось X_2 в $(k-1)$ и k моменты времени. «Большие» и «малые» разности нужны для осуществления последовательного сближения ЛА с программной точкой. Таким образом, вычисляя значения «больших» и «малых» разностей, можно вычислить последующее положение ЛА относительно ближайшей программной точки, используя метод кривой погони [6].

Уравнение, описывающее динамику движения ЛА по курсу в плоскости при использовании метода пространства состояний, можно представить в следующем виде:

$$P_1(k+1) = \left[\frac{\delta P_2(k+1)}{\delta P_2(k)} + 1 \right] \cdot P_1(k) - \frac{\delta P_2(k+1)}{\delta P_2(k)} P_1(k-1) + \left[\frac{n_H(k) + n(k) \cdot \operatorname{tg}^2(\Psi(k-1) - A) \cdot \delta P_2(k+1)}{\operatorname{tg}(\Psi(k-1) - A)} \right] \cdot \Delta \Psi(k),$$

$$P_2(k+1) = P_2(k) + \delta P_2(k+1).$$

Таким образом, задача линеаризации уравнений динамики управляемого объекта (УО) по курсовому каналу системы управления выполнена путем введения ограничений на величину приращения курсового угла, то есть на величину управляющего воздействия. При этом считается, что величины $\operatorname{tg}[\Psi(k-1) - A]$, $\delta P_2(k+1)$, $\delta P_2(k)$ на интервале времени $\{\Delta t(k); k=1, 2, \dots, N\}$ являются постоянными. Изменение этих величин наступает в момент времени k .

Для получения уравнений в пространстве состояний дискретной системы управления посадкой ЛА по глиссаде полагаем движение УО прямолинейным и установленным по указанному курсу посадки в моменты времени k , со снижением по высоте в соответствии с программными точками траектории посадки. Обратимся к рисунку 2, где изображены:

- $LA(k-1), LA(k), LA(k+1)$ - положение ЛА в дискретные моменты времени;
- $N(k-1), N(k), N(k+1)$ - положения программных точек;
- $h_D(k-1), h_D(k)$ - истинная высота ЛА в дискретные моменты времени;

- $h_{ПР}(k), h_{ПР}(k+1)$ - высота программных точек в дискретные моменты времени;
- $\Delta x_k, \Delta x_{k+1}$ - расстояние между программными точками по оси X ;
- X - ось, которая совпадает с направлением магнитного курса посадки аэродрома;
- $\alpha_a(k)$ - угол наклона траектории движения ЛА;
- $\alpha(k)$ - угол атаки ЛА;
- $\vartheta(k)$ - угол тангажа ЛА;

Расположение программных точек в вертикальной и горизонтальной плоскостях закладывается в БРЛС ЛА, а текущая высота ЛА вычисляется с помощью бортового высотомера [7].

Для решения поставленной задачи считаем, что бортовая аппаратура ЛА в каждый момент времени определяет текущие значения разницы по высоте:

$$\delta h(0) = h_D(0) - h_{ПР}(1), \delta h(1) = h_D(1) - h_{ПР}(2), \dots, \delta h(k) = h_D(k) - h_{ПР}(k+1) \quad (2)$$

и вычисляет углы:

$$\alpha_a(1) = \operatorname{arctg} \frac{\delta h(0)}{\Delta x_1}, \alpha_a(2) = \operatorname{arctg} \frac{\delta h(1)}{\Delta x_2}, \dots, \alpha_a(k) = \operatorname{arctg} \frac{\delta h(k-1)}{\Delta x_k}, \alpha_a(k+1) = \operatorname{arctg} \frac{\delta h(k)}{\Delta x_{k+1}}. \quad (3)$$

При этом $\alpha_a(0) = 0$, так как до начала снижения по глиссаде ЛА летит на заданной высоте без снижения.

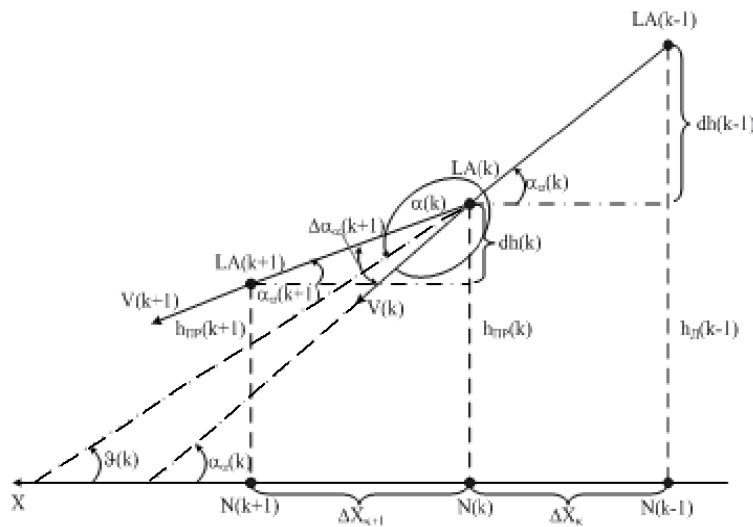


Рис. 2. Динамика управления посадкой ЛА по глиссаде планирования

Уравнение состояния системы управления для канала глиссады получается на основании рисунка 2, где можно увидеть:

$$\alpha_a(k+1) = \alpha_a(k) - \Delta\alpha_a(k+1). \quad (4)$$

Уравнение (4), вычисленное с помощью уравнений (2) и (3), описывает динамику управления посадкой ЛА по глиссаде планирования, заданной в виде программных точек.

Радиотехническая система приема и передачи данных

Для определения положения ЛА, нужны три РЛО, которые будут создавать две базы: РЛО№1-РЛО№2 и РЛО№2-РЛО№3. Угол между базами принимаем 90 градусов. С помощью РЛО вычисляются расстояния от М1, М2 и М3 до ЛА, программных точек (указывают глиссаду посадки ЛА) и меток ВПП (показывают границы ВПП) (рис. 3). Расстояния до программных точек остаются неизменными и заносятся в электронно-вычислительное устройство (ЭВМ) БРЛС ЛА до вылета. Расстояния до меток ВПП, угол между направлением базы РЛО№2-РЛО№3 и направлением на север передаются на бортовую радиолокационную станцию ЛА при подходе его на посадку, так как параметры ВПП зависят от конкретной ситуации. В качестве базового варианта РЛО можно использовать станцию «Муссон 502» [8].

Основные технические характеристики РЛО «Муссон 502» приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики РЛО «Муссон 502»

Характеристика	Значение
Диапазон частот излучаемого сигнала, МГц	9200...9500
Длительность излучаемого ответного сигнала, мкс	100
Время задержки излучаемого сигнала относительно запросного импульса, мкс	не более 0,5
Вид модуляции излучаемого сигнала	ЛЧМ
Масса РЛО без элементов питания, кг	1

Различение РЛО обеспечивается частотным разделением каналов, а именно частоту излучаемого сигнала для РЛО№1 принимаем 9250 МГц, для РЛО№2 - 9350 МГц, для РЛО№3 - 9450 МГц. Выбранные частоты входят в диапазон работы РЛО «Муссон 502».

Структурная схема РЛО «Муссон 502», с изменениями для рассматриваемого случая, изображена на рисунке 4. Временные диаграммы, поясняющие работу трех РЛО, показаны на рисунках 5, 6, 7.

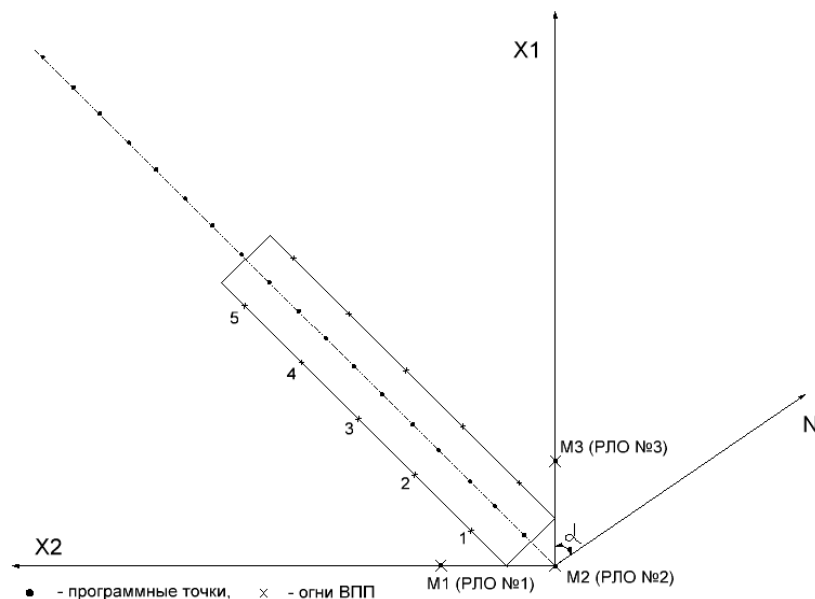


Рис. 3. Расположение программных точек и меток ВПП в системе координат относительно радиолокационных ответчиков

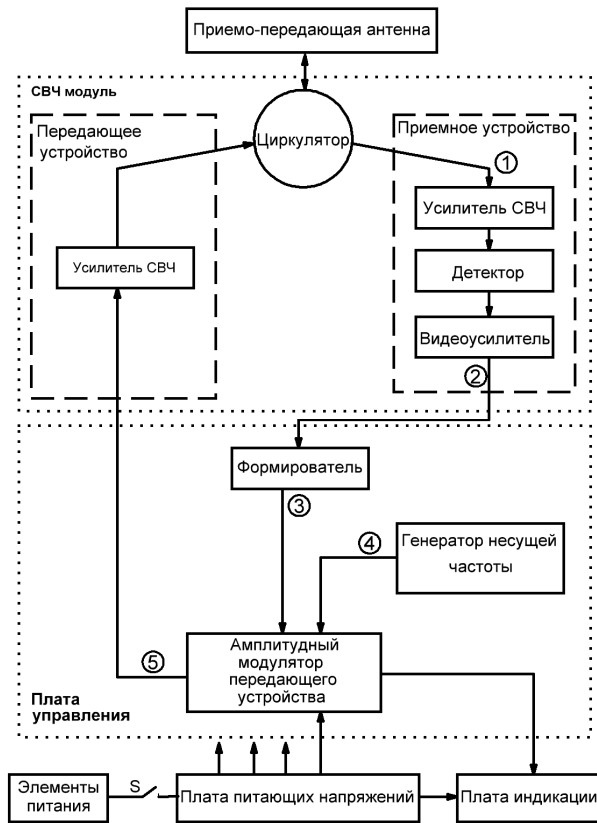


Рис. 4. Модифицированная структурная схема РЛО «Муссон 502»

Рассмотрим работу формирователя более детально. Алгоритм работы показан на рисунке 8. Формирователь – это микроконтроллер (МК) с тактовой частотой 72МГц (период одного такта равняется $1/72 \text{ МГц} = 0,0138\text{мкс}$), программа которого работает в следующем порядке:

1. При поступлении сигнала запроса от ЛА, запускается формирователь импульсов в МК. На основании формул, приведенных в теоретической части статьи, происходит расчет длительностей импульсов (общая длительность сигнала не должна превышать 100мкс, следуя из технических характеристик РЛО «Муссон 502», а это $100\text{мкс}/0,0138\text{мкс} \approx 7200$ тактов генератора МК, где 0,0138мкс - это период одного такта МК).

2. Устанавливается ограничение для формирования импульсов, чтобы отличать данные о дальностях до меток ВПП (левая и правая стороны ВПП для РЛО№1 и РЛО№3 и плюс направление системы координат относительно курса на север – α (рис. 3), для РЛО№2). Таким образом, для РЛО№1 и РЛО№3 50 мкс выделяется для формирования импульсов, содержащих данные о дальностях до меток левой стороны ВПП, а другие 50 мкс для данных о дальностях до меток правой стороны. В РЛО№2 выделяется 40 мкс для формирования импульсов, содержащих данные о дальностях до левой стороны ВПП и столько же для правой, остальные 20 мкс для импульса, содержащего в своей длительности угол системы координат относительно севера.

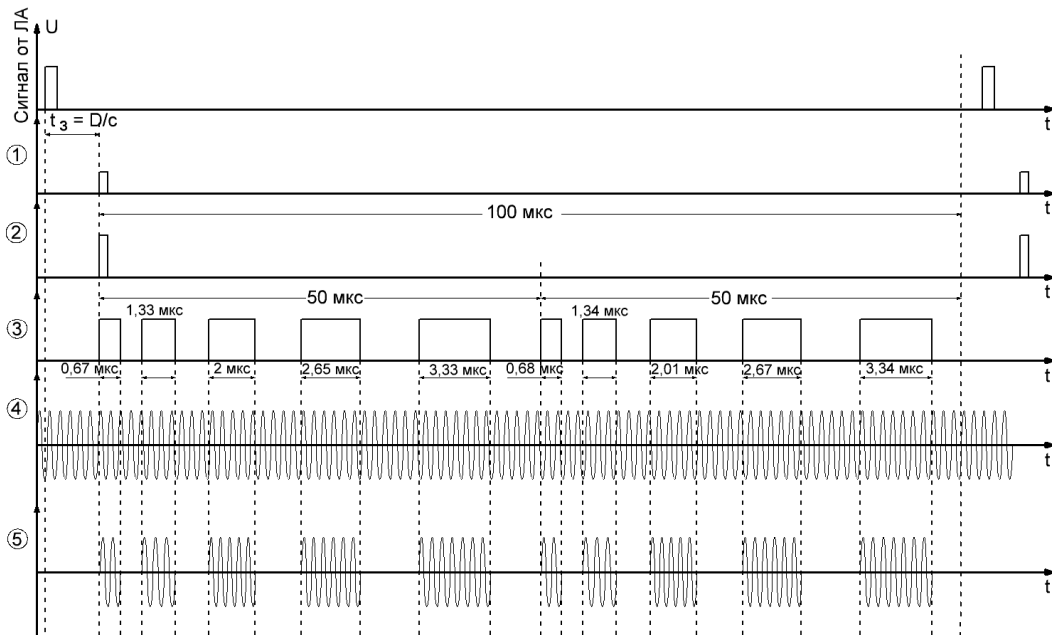


Рис. 5. Временная диаграмма для РЛО№1

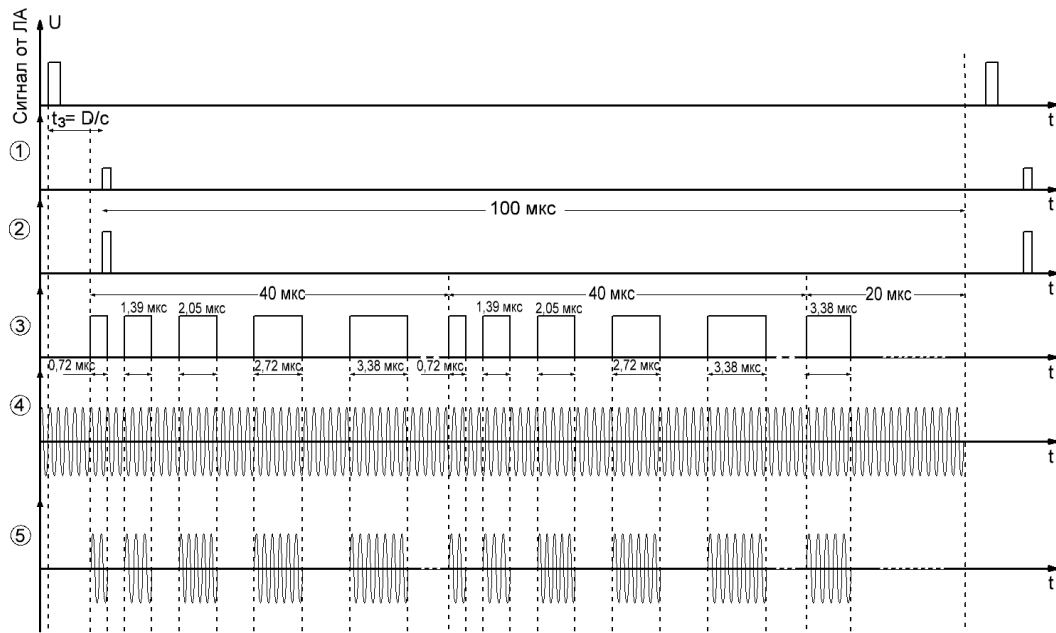


Рис. 6. Временная диаграмма для РЛО№2

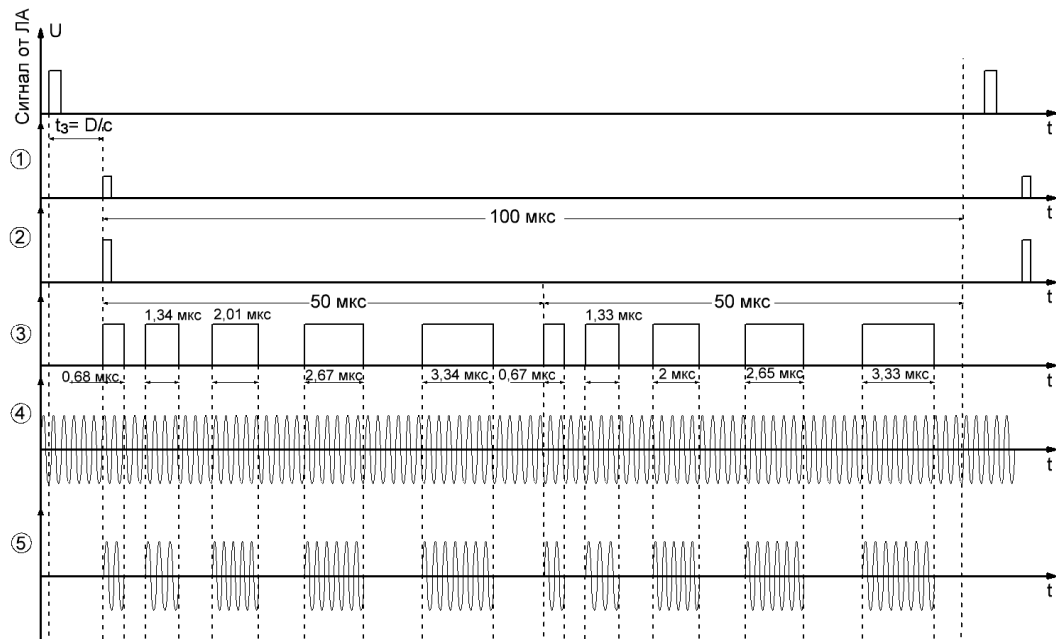


Рис. 7. Временная диаграмма для РЛО№3

Рассмотрим пример формирования длительности импульса, зная расстояние до метки ВПП для РЛО№1. К примеру, расстояние до первой метки ВПП равно 200м, длительность импульса будет равна $200\text{м}/300000000 = 0,67 \text{ мкс}$ (300000000 – это константа, которая известна в МК передатчика и приемника), тогда количество тактов при частоте МК 72МГц будет равно $0,67\text{мкс}/0,0138\text{мкс} = 48$ тактов генератора. Это означает, что первый импульс будет длительностью 0,67 мкс, а это 48 тактов генератора МК (временная задержка) в первом цикле с установленной логической единицей. Столько же

тактов и для логического нуля. Далее идет следующий импульс, содержащий информацию о дальности до второй метки ВПП. И так до окончания массива данных о длительностях для левой полосы меток ВПП. Во второй части сигнала (от 3600 тактов = 50мкс по длительности) все происходит аналогично, но там уже содержится информация о дальностях до правой полосы меток ВПП.

Что касается РЛО№2, расчеты аналогичные для РЛО№1 (приведенном выше), но добавляется еще один импульс, который содержит в себе информацию об угле расположения системы X1X2 относи-

тельно направления на север (α – угол между осью X1 и N). Длительность импульса определяется делением угла α (в секундах) на число 8640000000 (число выбрано из расчета, что максимальная длительность импульса при максимальном угле (до 360 градусов) будет равна 15 мкс).

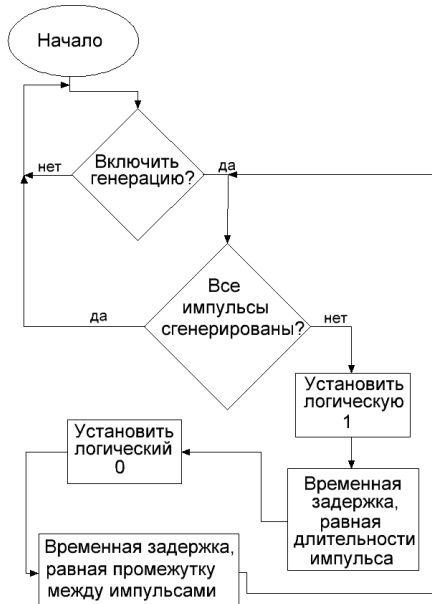


Рис. 8. Алгоритм работы формирователя (МК) в структурной схеме РЛО

Схема супергетеродинного приемника РЛС приведена на рисунке 9.

В этой схеме МК-1, МК-2 и МК-3 работают по принципу – обратному работе формирователей в РЛО (для первого канала (РЛО№1) несущая равна 9250 МГц, для второго канала (РЛО№2) – 9350 МГц, для третьего канала (РЛО№3) – 9450 МГц). Микроконтроллеры абсолютно одинаковые. После демодуляции и усиления сигнал поступает на вход МК, который считает количество тактов каждого пришедшего на его вход импульса и формирует массив данных о дальностях до левых меток ВПП, до правых меток ВПП и угол α (только в МК-2).

После всех преобразований, сигнал поступает в МК и в нем происходит подсчет количества тактов установленной логической единицы. Алгоритм работы МК показан на рисунке 10.

Как только на входе МК появляется логический ноль, подсчитанное количество тактов записывается в массив данных. Как только массив данных готов (на входе МК длительное время удерживается логический «0»), он передается по UART на ЭВМ. В ЭВМ известна длительность одного такта МК, которая необходима для определения расстояний до меток ВПП (для МК-2 еще и угол α). Далее полученное расположение меток отображается на радиолокаторе или дисплее. На рисунке 11 изображены временные диаграммы работы приемника РЛС.

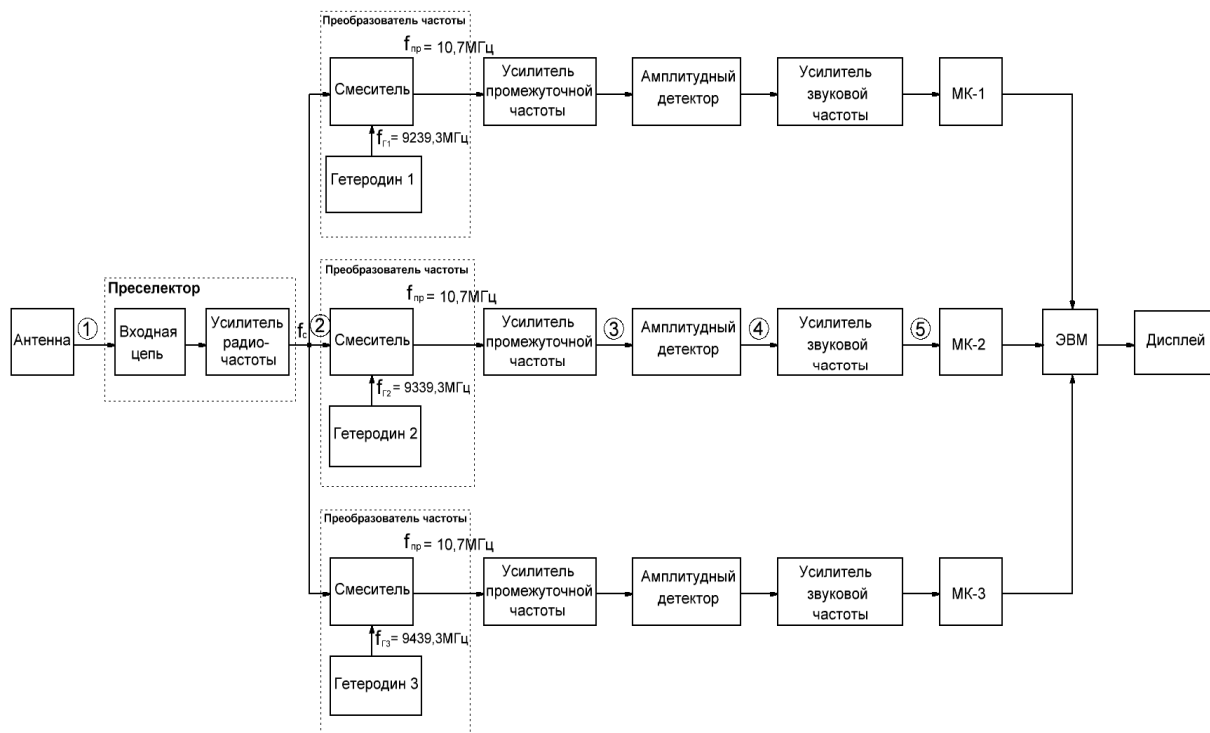


Рис. 9. Структурная схема приемника РЛС



Рис. 10. Алгоритм работы МК в схеме приемника РЛС

Отображение информации о дальностях на индикаторе радиолокатора и динамика движения ЛА при заходе на посадку показаны на рисунке 12 – в первый момент времени, рисунок 13 – во второй момент времени, рисунок 14 – в третий момент времени.

Для проверки возможной реализации процедуры посадки летательного аппарата разработано программное средство на языке Java. Одним из основных преимуществ языка Java перед другими языками программирования является возможность переноса программ из одной системы в другую. Поскольку программы на Java не зависят от платформы, как на уровне исходного кода, так и на двоичном уровне, их можно запускать в различных системах.

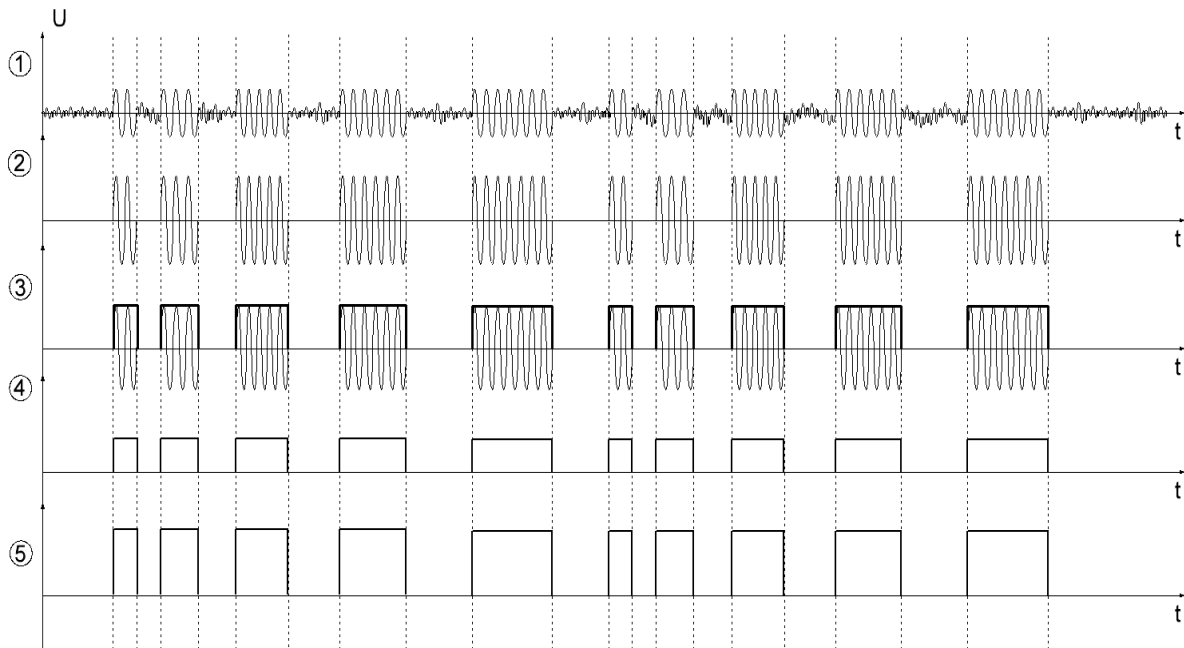


Рис. 11. Временная диаграмма работы приемника РЛС

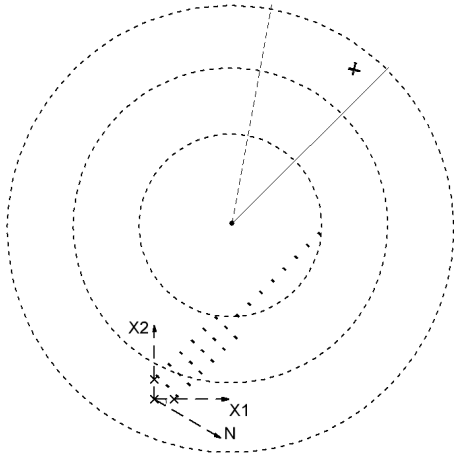


Рис. 12. Изображение сигналов РЛО на экране РЛС кругового обзора в первый момент времени

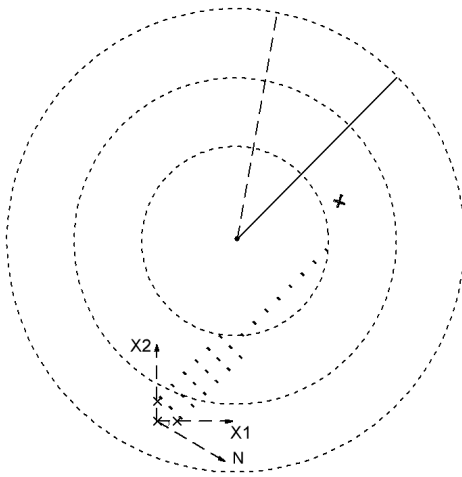


Рис. 13. Изображение сигналов РЛО на экране РЛС кругового обзора во второй момент времени

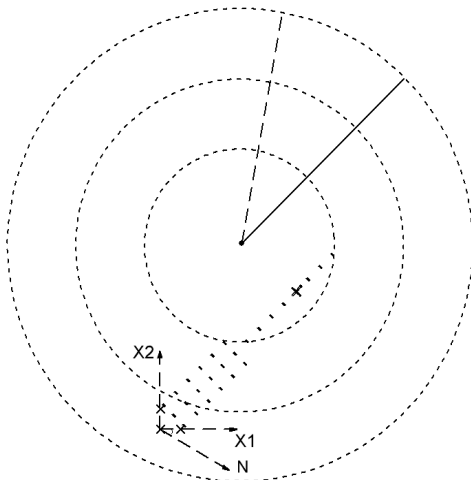


Рис. 14. Изображение сигналов РЛО на экране РЛС кругового обзора в третий момент времени

Основное окно программы показано на рисунке 15.

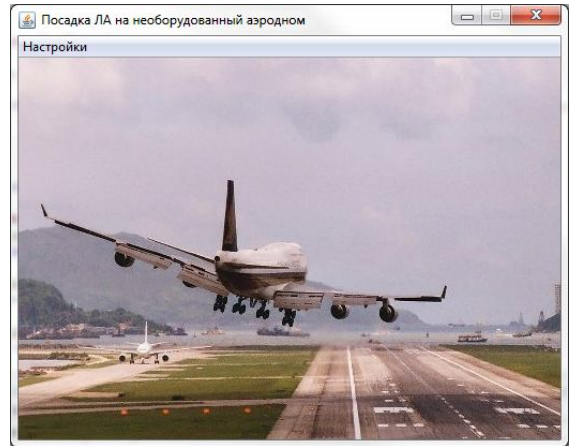


Рис. 15. Основное окно программы

После запуска основного окна, необходимо выбрать пункт «Настройки» и далее выбрать пункт «Входные параметры», затем установить координаты положения летательного аппарата, флаг «изобразить программные точки» и флаг «изобразить траекторные точки» (рис. 16).

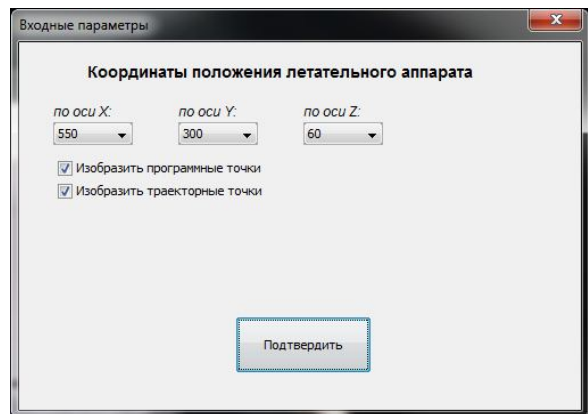


Рис. 16. Окно с входными параметрами $X = 550$, $Y = 300$, $Z = 60$, с изображением траекторных и программных точек

В окне с входными параметрами (рис. 16) X и Y – это координаты расположения ЛА в горизонтальной плоскости (чем они больше по своему значению, тем дальше располагается ЛА от аэродрома для посадки, т.е. если в первом случае $X = 350$, $Y = 350$, а во втором случае $X = 550$, $Y = 500$, то во втором случае ЛА будет находиться дальше от ВПП, по сравнению с первым). Z – координата, характеризующая высоту расположения ЛА в вертикальной плоскости (чем координата больше по своему значению, тем меньше начальная высота полета ЛА,

т.е. если в первом случае $Z = 60$, а во втором $Z = 120$, то для первого случая ЛА имеет больше высоту своего текущего положения, по сравнению со вторым). После установки входных параметров нажать кнопку «Подтвердить», после чего появятся два графика с динамикой движения ЛА по траекторным точкам, которые строятся на основании формул, приведенных в теоретической части (определяя «большие» и «малые» разности и пропорционально приближаться к программной точке). На рисунках 17-20 отображается динамика посадки ЛА в вертикальной проекции.

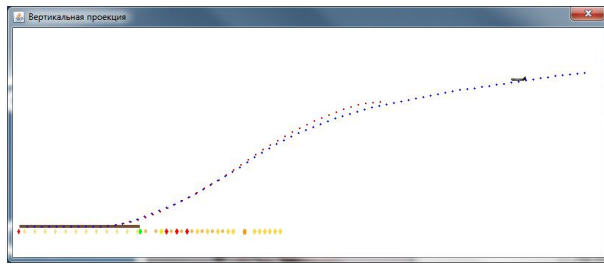


Рис. 17. Посадка ЛА в вертикальной проекции в первый момент времени

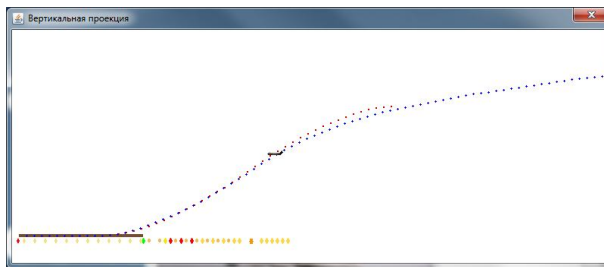


Рис. 18. Посадка ЛА в вертикальной проекции во второй момент времени

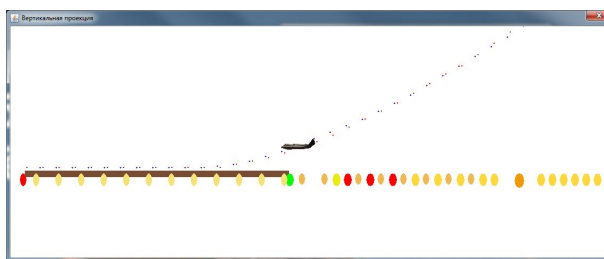


Рис. 19. Посадка ЛА в вертикальной проекции в третий момент времени

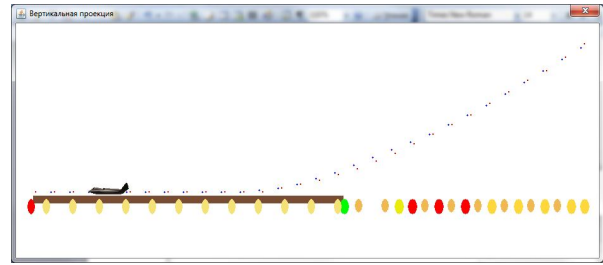


Рис. 20. Посадка ЛА в вертикальной проекции в последний момент времени

На рисунках 21-24 изображена посадка ЛА в горизонтальной проекции.

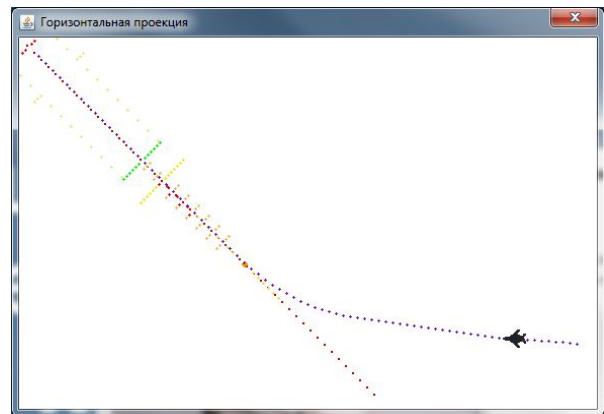


Рис. 21. Посадка ЛА в горизонтальной проекции в первый момент времени

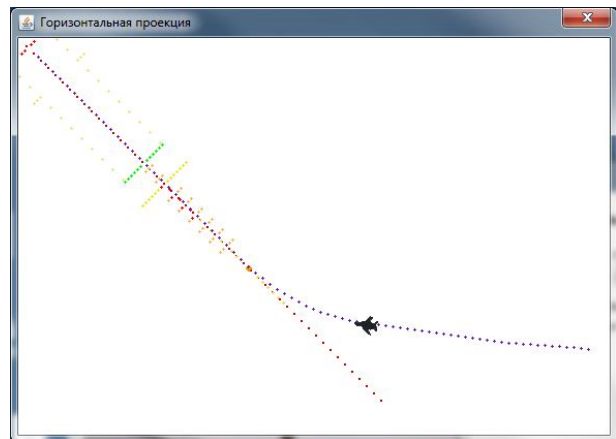


Рис. 22. Посадка ЛА в горизонтальной проекции во второй момент времени

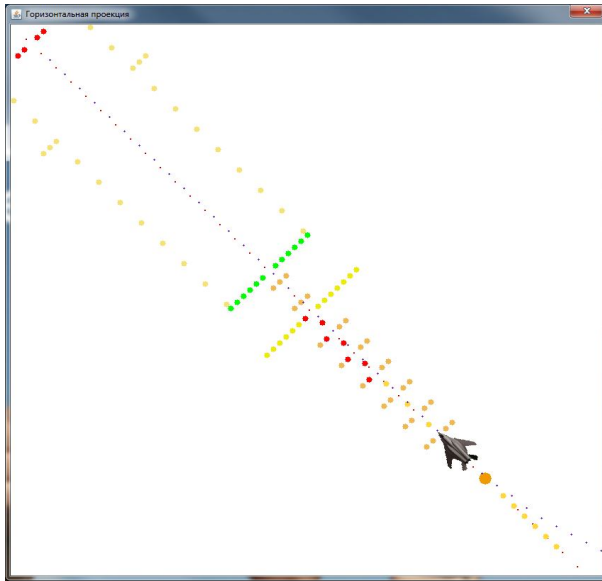


Рис. 23. Посадка ЛА в горизонтальной проекции в третий момент времени

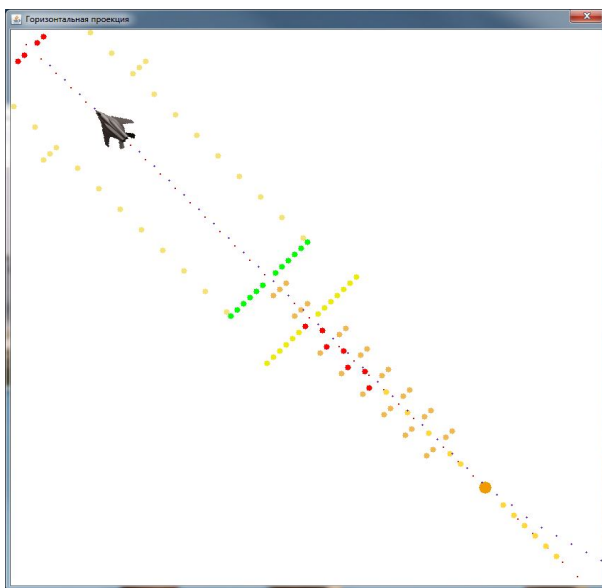


Рис. 24. Посадка ЛА в горизонтальной проекции в последний момент времени

Заключение

Рассмотрены теоретические сведения о поверхностях положения с вертикальной образующей, их применение при разработке методов и законов управления посадкой ЛА по курсу и по глиссаде. Применены расположения групп меток на аэродроме (огни ВПП).

Предложен метод расчета расстояний от трех радиолокационных ответчиков до меток ВПП и разработан метод передачи этих данных на бортовую

радиолокационную станцию ЛА. Для передачи данных, в качестве базового варианта, использовался РЛО «Муссон 502», структурная схема которого изменена под решаемую задачу. Приведены временные диаграммы, поясняющие работу радиолокационных ответчиков.

На базе РЛО «Муссон 502» предложена структурная схема бортового супергетеродинного приемника, работа которого поясняется временными диаграммами. Приведена иллюстрация отображения меток ВПП и программных точек на борту ЛА. Для проверки возможной реализации процедуры посадки летательного аппарата разработано программное средство на языке Java. Приведены иллюстрации работы программы.

Литература

1. Радиотехнические системы [Текст] / Ю. М. Каразинов, Ю. А. Коломенский, Ю. К. Пестов [и др.]. – М. : Советское Радио, 1968. – 496 с.
2. Барышев, И. В. Формирование и использование поверхностей положения с вертикальной образующей [Текст] / И. В. Барышев, А. М. Длужневский // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 1999. – № 11. – С. 17–24.
3. Ильин, В. А. Аналитическая геометрия [Текст] / В. А. Ильин, Э. Г. Поздняк. – М. : Наука, 1988. – 223 с.
4. Барышев, И. В. Управление посадкой летательных аппаратов на необорудованные аэродромы в пространстве цилиндрических поверхностей положения [Текст] / И. В. Барышев, О. В. Висоцкий // Авіаційно-космічна техніка і технологія : зб. наук. пр. НАУ – 2001. – Вип. 22. – С. 349–352.
5. Барышев, И. В. Математична модель каналу курсу автономної системи траекторного управління посадкою літаків на необладнані аеродроми [Текст] / И. В. Барышев, В. В. Поляков, О. В. Висоцкий // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – № 4 (12). – С. 61–64.
6. Тшугин, В. Н. Радиоуправление [Текст] / В. Н. Тшугин, В. А. Вейцель. – М. : Советское радио, 1962. – 753 с.
7. Барышев, И. В. Способи посадки літаків на необладнаний аеродром [Текст] / И. В. Барышев, В. В. Поляков, О. В. Висоцкий // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2006. – № 6 (32). – С. 61–66.
8. Лукьянчук, А. Г. Исследование характеристик системы радиолокации с активным ответом. Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Радиоэлектронные системы» для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 7.050901 – Радиотехника [Текст] / А. Г. Лукьянчук, А. В. Мельников. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2009. – 20 с.

Поступила в редакцію 10.04.2014, рассмотрена на редколлегии 19.05.2014

Рецензент: канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов М. Л. Усс, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

РАДІОТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

І. В. Барышев, П. А. Вавренюк

Розглядається метод посадки літального апарату на необладнані штатними радіотехнічними засобами робочі поверхні злітно-посадкової смуги в надзвичайних ситуаціях. Для вирішення завдання управління рухом літального апарату з програмної траєкторії, пропонується математична модель з використанням поверхонь положення з вертикальною твірною. Спроектовано систему прийому та передачі даних між радіолокаційними відповідачами і радіолокаційною станцією літального апарату, наведено часові діаграми роботи даної системи. Для перевірки можливої реалізації процедури посадки літального апарату, розроблено програмний засіб мовою Java.

Ключові слова: радіонавігація, необладнані аеродроми, посадка літального апарату, програмне моделювання, злітно-посадкова смуга, поверхні положень з вертикальною твірною.

RADIO PROVISION OF RUNWAY DURING EMERGENCIES

I. V. Baryshev, P. A. Vavreniuk

The method of aircraft landing on working surface runway unequipped with regular radio equipment during emergencies is considered. The mathematical model using surfaces with vertical position generator is proposed to solve the problem of motion control of the aircraft at the programmed trajectory. The system for receiving and transmitting data between radar transponders and aircraft radar is designed, the timing diagrams of the system are shown. The software tool to test the possible implementation procedure of aircraft landing is developed using the Java programming language.

Key words: radionavigation, unprepared airfields, aircraft landing, software modeling, runway, position surfaces with vertical generatrix.

Барышев Игорь Владимирович – д-р техн. наук, проф., профессор кафедры проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Вавренюк Павел Андреевич – инженер кафедры проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: biv1937@ukr.net.