

УДК 681.5.015.44

Система логического управления обхода препятствий беспилотным летательным аппаратом при маршрутном полете

Лебедев Г.Н.*, Румакина А.В.**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

**e-mail: kaf301@mai.ru*

***e-mail: dolgova-221@mail.ru*

Аннотация

Решается задача многорежимного управления маршрутным полетом путем разбиения траектории движения беспилотного летательного аппарата (БЛА) на ряд участков, границы которого представлены в виде дополнительных промежуточных планируемых пунктов маршрута. Результаты компьютерного моделирования маршрутного полета с учетом препятствий подтвердили высокое быстродействие разработанного алгоритма на борту БЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, обход препятствий, промежуточный пункт планируемого маршрута, маршрутный полет.

1. Введение

Существующие в настоящее время подходы к решению задачи планирования маршрута полета в первую очередь относятся к процессу поочередного облета и

наблюдения неподвижных объектов.[1] Известно множество методов маршрутизации, начиная от метода ветвей и границ и заканчивая нейросетевыми алгоритмами планирования, когда в исходных данных указаны координаты местоположения наблюдаемых объектов, а результатом решения задачи является последовательность облета пунктов планируемого маршрута (ППМ).

Однако в этих методах недостаточное внимание уделено выбору маршрута облета препятствий, особенно возникающих в ходе полета, иначе говоря тех, информация о которых не заложена в память БЦВМ перед вылетом. Особенность этого вопроса применительно к беспилотным летательным аппаратам (БЛА) в том, что в случае внезапных изменений динамической обстановки перепланирование полета должно осуществляться без участия человека в автоматическом режиме. [2]

Еще большие трудности возникают при планировании облета мобильных объектов. Дополнительный учет векторов скорости БЛА и наземных объектов требует новых подходов к решению задачи планирования полета, которые малоизучены и являются актуальными.

Целью данной работы является разработка логической системы управления маршрутным полетом беспилотного летательного аппарата, ориентированной на облет препятствий на маршруте, информация о которых известна заранее или поступает во время полета, а планируемые пункты маршрута являются неподвижными.

Под режимами полета понимаются процессы, порядок выполнения которых неизменный.

Под простыми полетными операциями понимается – разворот только по курсу, снижение и набор высоты, стабилизация по заданной линии пути – т.е. отдельные задачи стабилизации углового и траекторного движения.

Под уставками понимается ряд назначаемых постоянных чисел, автоматически в нужное время пересылаемых в регуляторы для их адаптивной перестройки.

2. Постановка задачи

Ставится задача логического управления многорежимным маршрутным полетом БЛА, когда при перелете из одного неподвижного пункта в другой необходимо существенно изменить либо курс, либо высоту, либо скорость или всё одновременно. Одним из примеров переключения режимов полета является попадание БЛА из передней в заднюю полусферу, как показано на рис.1.

Дано:

1. Заданы динамические характеристики канала продольного движения, реализующего
 - режим 1. набора высоты при $\Delta H > 100\text{м.}$ по критерию максимальной скороподъемности;
 - режим 2. экстренного снижения на значительную величину ΔH ;
2. Заданы динамические характеристики канала бокового движения, когда необходимо существенно изменить курс на угол более 90° , для чего необходимо реализовать режим 3 разворота только по курсу.

3. Заданы динамические характеристики канала управления тягой двигателя при существенном изменении скорости

- режим 4 достижения максимальной скорости;

- режим 5 снижения скорости до минимума.

4. Отдельно возможен наиболее распространенный режим 6 одновременного управления во всех каналах, когда планируемые изменения полета БЛА несущественны. Назовем его режимом стабилизации.

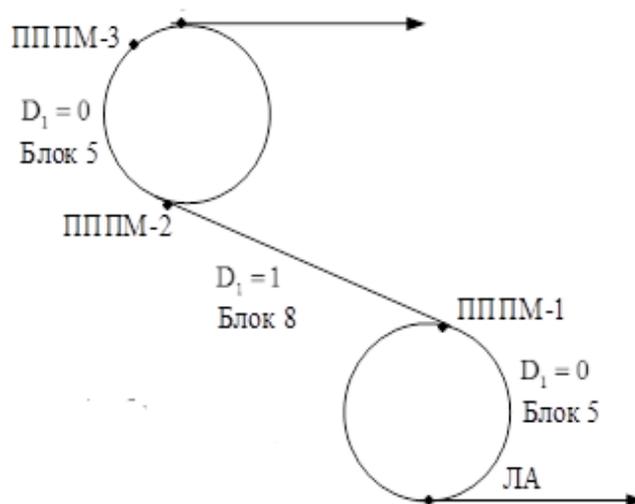


Рис.1 Траектория перелета из передней в заднюю полусферу

5. Для каждого из шести режимов имеются свои уставки в регуляторы управления продольным, боковым движением и тягой.

6. Главная особенность маршрутизации БЛА в реальных условиях состоит в том, что при перелете из одного пункта в другой на прямом пути могут встречаться препятствия, которые необходимо обходить по кусочно-линейной траектории, как, например, показано на рис. 2.

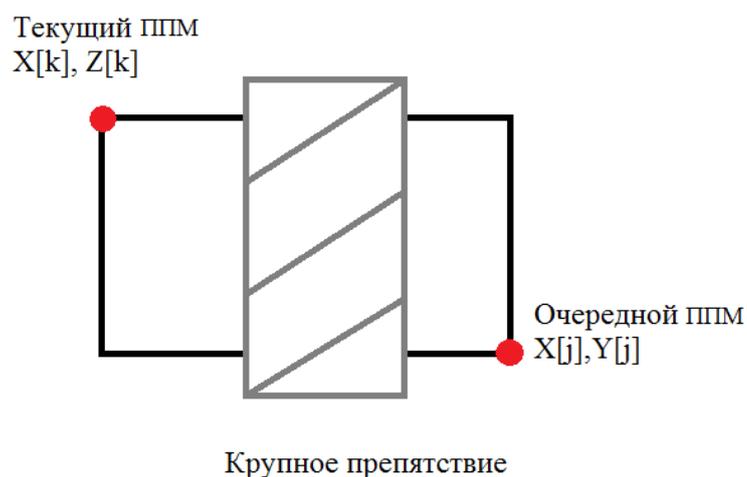


Рис.2 Пример крупного препятствия

Требуется:

- разбить траекторию полета на ряд участков, выполняющих простые полетные операции (режимы), определив границы этих участков в виде ПППМ (промежуточные пункты планируемого маршрута) и определив тем самым логику многорежимного управления при отсутствии препятствий, как показано на рис.3.
- в случае имеющихся препятствий определить дополнительные ПППМ для их обхода.

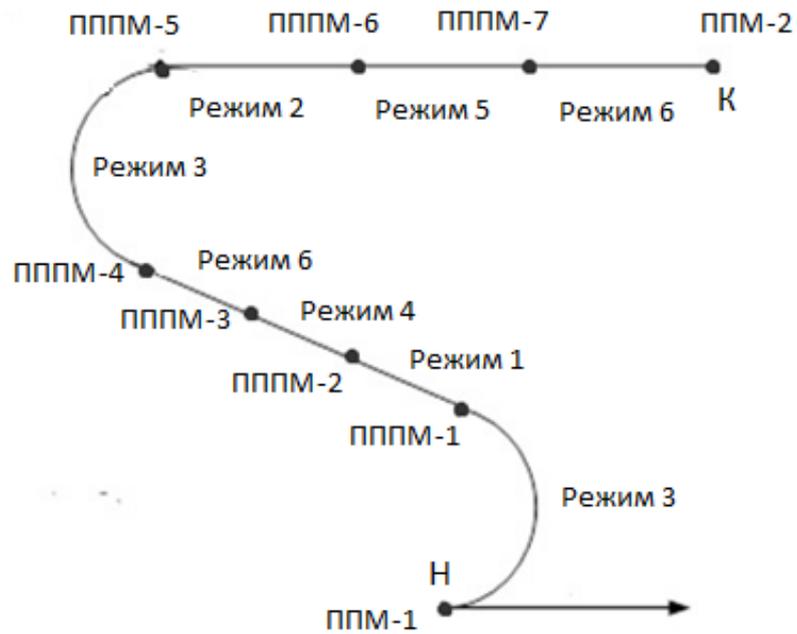


Рис.3 Пример использования шести режимов полета для случая, показанного на рис.1.

В поставленной задаче координаты пунктов полетного задания, очередность и высота их пролета, а так же требования к времени выполнения задания считаются заданными на стратегическом уровне планирования полета. Также на стратегическом уровне управления формируется информация о препятствиях на пути маршрута. Алгоритм назначения очередности облета ППМ и выявления препятствий в данной работе не рассматривается.

Координаты очередного ППМ подаются на тактический уровень планирования, который проверяет предполагаемый маршрут полета на наличие препятствий. В случае их отсутствия, управление передается на исполнительный уровень, иначе строится маршрут облета препятствия с назначением

промежуточных пунктов полетного задания, и на исполнительный уровень подаются координаты очередного ПППМ.

3.Алгоритм работы системы логического управления

Алгоритм представляет собой два цикла – внешний и вложенный. Во внешнем цикле происходит перебор всех известных ПППМ по очереди. При рассмотрении очередного ПППМ происходит обращение во внутренний цикл, где просматриваются все известные препятствия на предмет попадания их на линию пути ЛА. Условием выхода из внутреннего цикла является перебор всех препятствий, условием выхода из внешнего – просмотр всех ПППМ. По окончании работы алгоритма формируется обновленный план полетного задания, в который входят как пункты исходного полетного задания, так и назначенные промежуточные пункты облета препятствий. Алгоритм вызывается всякий раз при поступлении информации о новых ПППМ или препятствиях, и показан на рис.4.

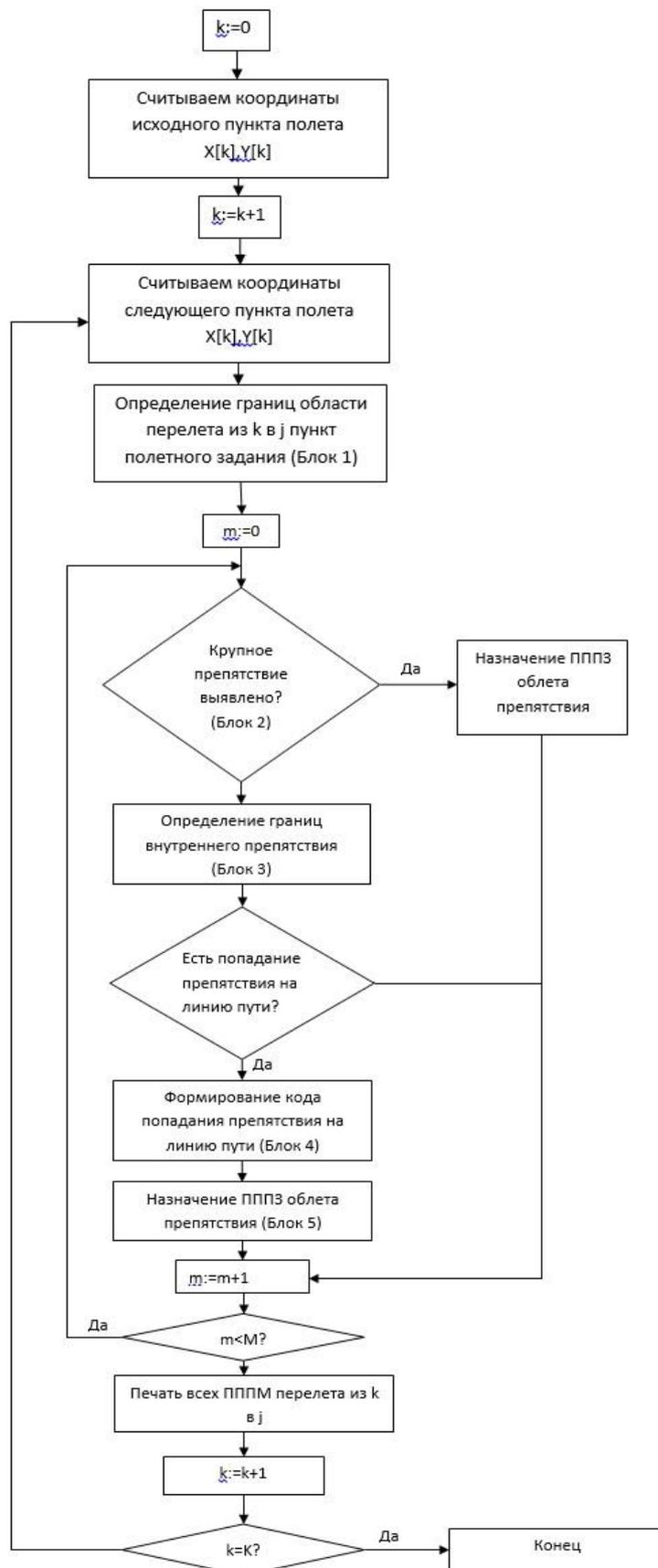


Рис.4 . Блок-схема алгоритма системы логического управления маршрутным полетом БЛА

Работа алгоритма начинается со считывания информации о текущем местоположении ЛА, а также координат следующего ППМ. Согласно заданию на разработку алгоритма, препятствия представляют собой прямоугольники с известными координатами. Ситуация, когда маршрутный пункт попадает внутрь препятствия, не рассматривается, задача правильного формирования маршрута возлагается на стратегический уровень планирования. Перелет из текущей точки маршрута в очередную должен происходить внутри прямоугольной области, ограниченной текущим пунктом с одной стороны и очередным с другой. Пример такой области приведен на Рис. 5. Для определения границ области происходит обращение в Блок 1.

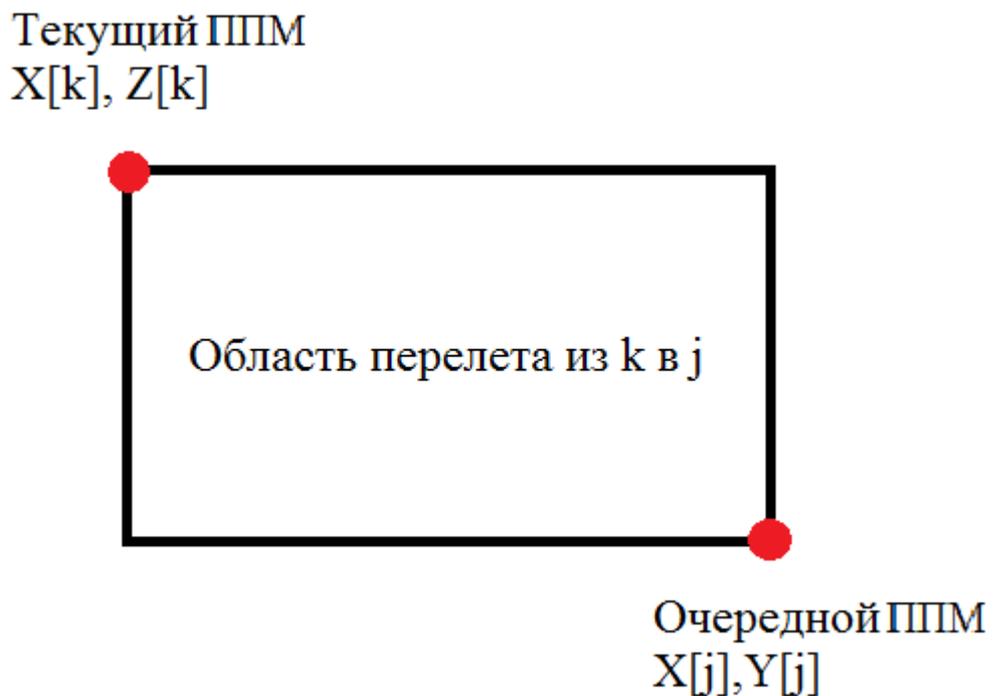


Рис.5 . Пример прямоугольной области перелета в очередной пункт маршрута.

Блок 1 производит сравнение между собой одноименных координат текущего и очередного ППМ, выявляя левую, правую, нижнюю и верхнюю границы, определяя переменные X_{min} , X_{max} , Z_{min} , Z_{max} соответственно.

После этого происходит обращение во вложенный цикл, обнуление счетчика цикла и переход в Блок 2 выявления крупного препятствия.

Крупным считается такое препятствие, у которого одно из измерений больше соответствующего измерения прямоугольной области перелета, то есть облет препятствия без выхода из полетной области невозможен. Пример крупного препятствия представлен на Рис.2 .

Блок 2 сравнивает соответствующие координаты препятствия и области перелета. Если одновременно и большая, и меньшая границы препятствия выходят из зоны, препятствие считается крупным, и алгоритм переходит к назначению точек облета препятствия вне области, выбирая кратчайший маршрут. Координаты назначенных точек записываются в обновленное полетное задание, алгоритм переходит к проверке следующего препятствия. Если же ни одна из границ препятствия, или только одна, больше размеров зоны перелета, то алгоритм обращается в Блок 3.

Блок 3 определяет взаимное расположение препятствия и области перелета, что необходимо для выбора направления облета. Рассмотрено 9 возможных расположений препятствия относительно полетной зоны, когда между ними есть пересечение или касание. Все ситуации, когда пересечения или касания нет, сведены в десятую ситуацию «нет угрозы». Примеры взаимного расположения приведены на рис. 6.

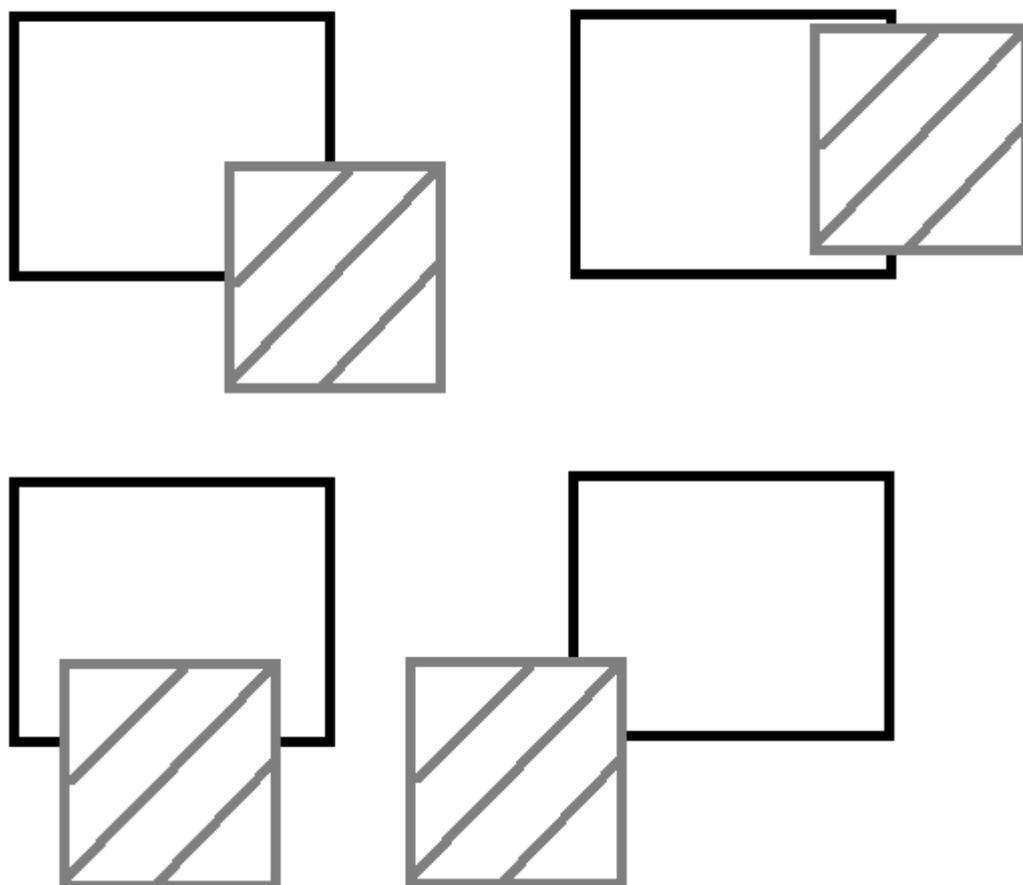


Рис. 6. Примеры взаимного расположения области перелета (черный прямоугольник) и препятствия (заштрихованная область)

Блок 3 оценивает границы препятствия, сравнивая с координатами X_{min} , X_{max} , Z_{min} , Z_{max} области, и определяет, какой из возможных вариантов взаиморасположения рассматривается. После выбора варианта происходит «корректировка» границ препятствия. В некоторых вариантах часть препятствия выходит за границы зоны перелета, при этом на направление облета будет влиять только «внутренняя часть». Для правильной работы последующего блока 4 препятствие необходимо скорректировать. Пример скорректированных препятствий приведен на рис. 7.

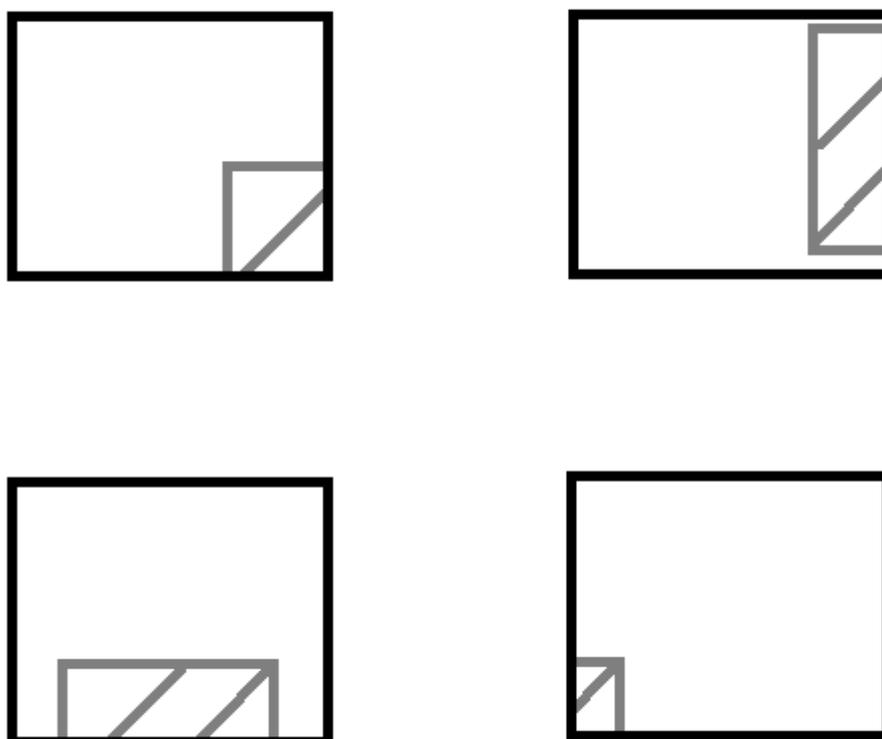


Рис . 7. Скорректированные препятствия.

Блок 4 анализирует попадание препятствия на линию пути. Границы препятствия разбиваются на восемь отрезков, деление граней происходит пополам. Для описания номера отрезка используется переменная t .

Результатом работы блока 4 является сформированные значения специальной переменной t , идентифицирующей номер наиболее опасной вершины препятствия, который передается в блок 5. В случае, если линия пути проходит в стороне от запретной зоны, алгоритм переходит к рассмотрению следующего препятствия.

Блок 5 назначает точки облета препятствия. После выбора варианта действия назначаются координат ПППМ, которые переписываются в обновленное полетное

задание. По завершению работы блока 5 алгоритм переходит к рассмотрению следующего препятствия, или выходит из внутреннего цикла.

После просмотра всех известных пунктов маршрута происходит выход из внешнего цикла. Сформированное новое полетное задание, с учетом препятствий на пути маршрута, передается в исполнительную часть БЦВМ, которая обеспечивает поочередный облет всех ППМ.

Моделирование и проверка правильности работы алгоритма приведены в следующем разделе.

4. Компьютерное моделирование алгоритма логического управления и оценка его эффективности

Для моделирования работы предложенного алгоритма была написана программа на языке С. С целью проверки правильности работы программа выводит репортаж после каждого выбора варианта действий или назначения новых ПППМ.

В качестве тестового задания был предложен маршрут из девяти точек, одна из которых – начальная. Расположение и порядок точек показаны на рис. 8, координаты точек даны в табл.1 .

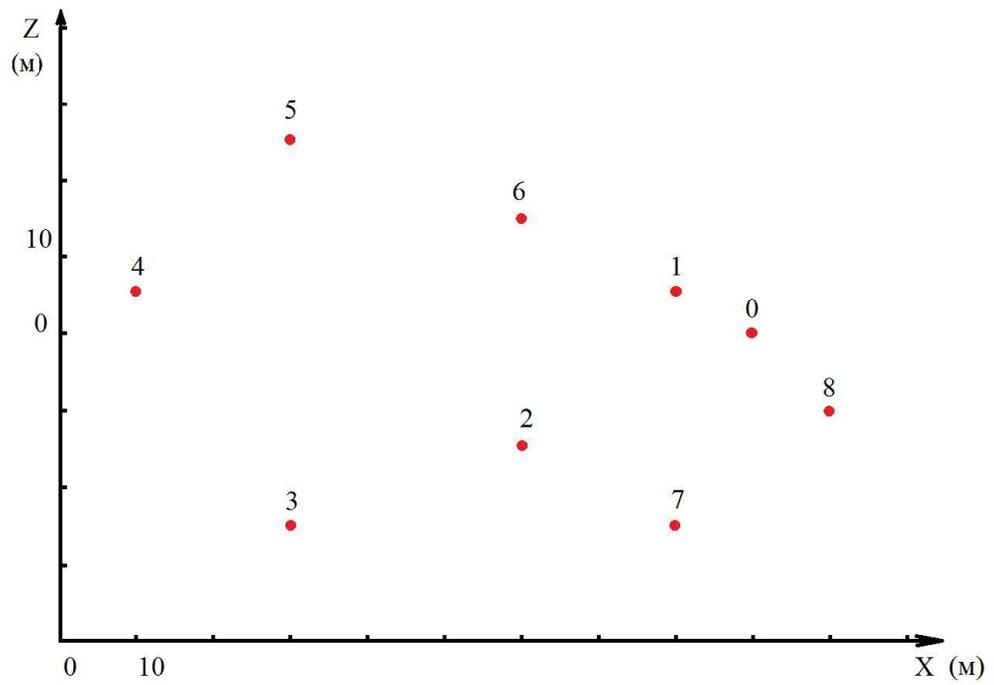


Рис .8. Набор тестовых точек маршрута.

Таблица 1.

Координаты тестовых точек.

№ ППМ	X (м)	Z (м)
0	90	0
1	80	5
2	60	-15
3	30	-25
4	10	5
5	30	25
6	60	15
7	80	-25
8	100	10

Маршрут облета ППМ без учета препятствий представлен на рис. 9.

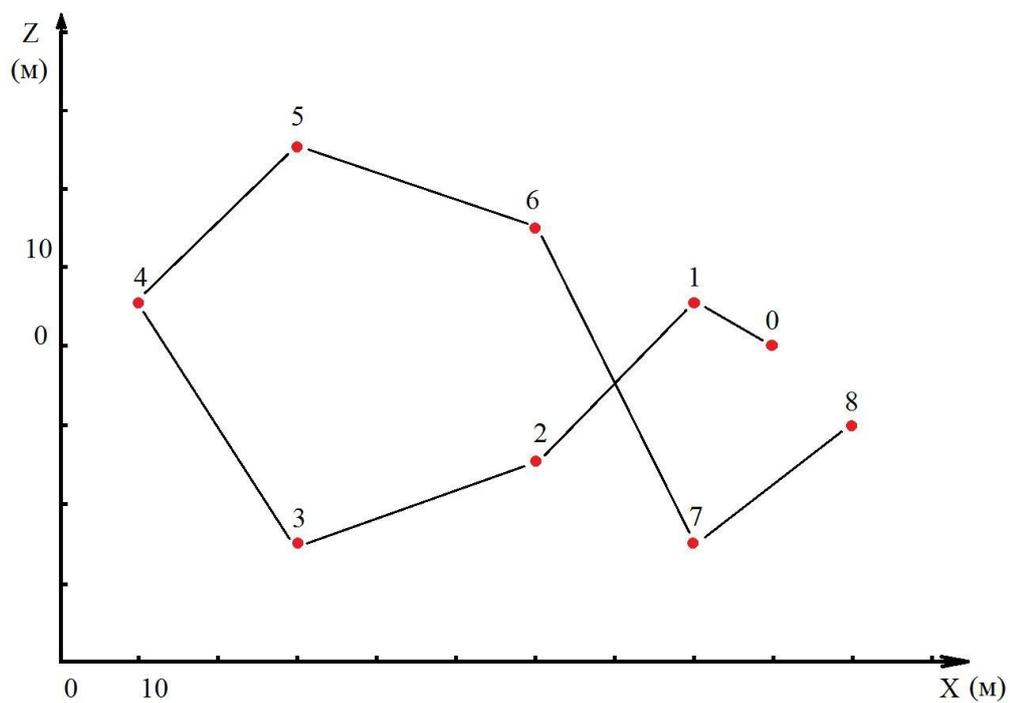


Рис. 9. Маршрут облета ППМ без учета препятствий.

На маршруте введены препятствия, представленные на рис. 10. координаты препятствий даны в табл. 2.

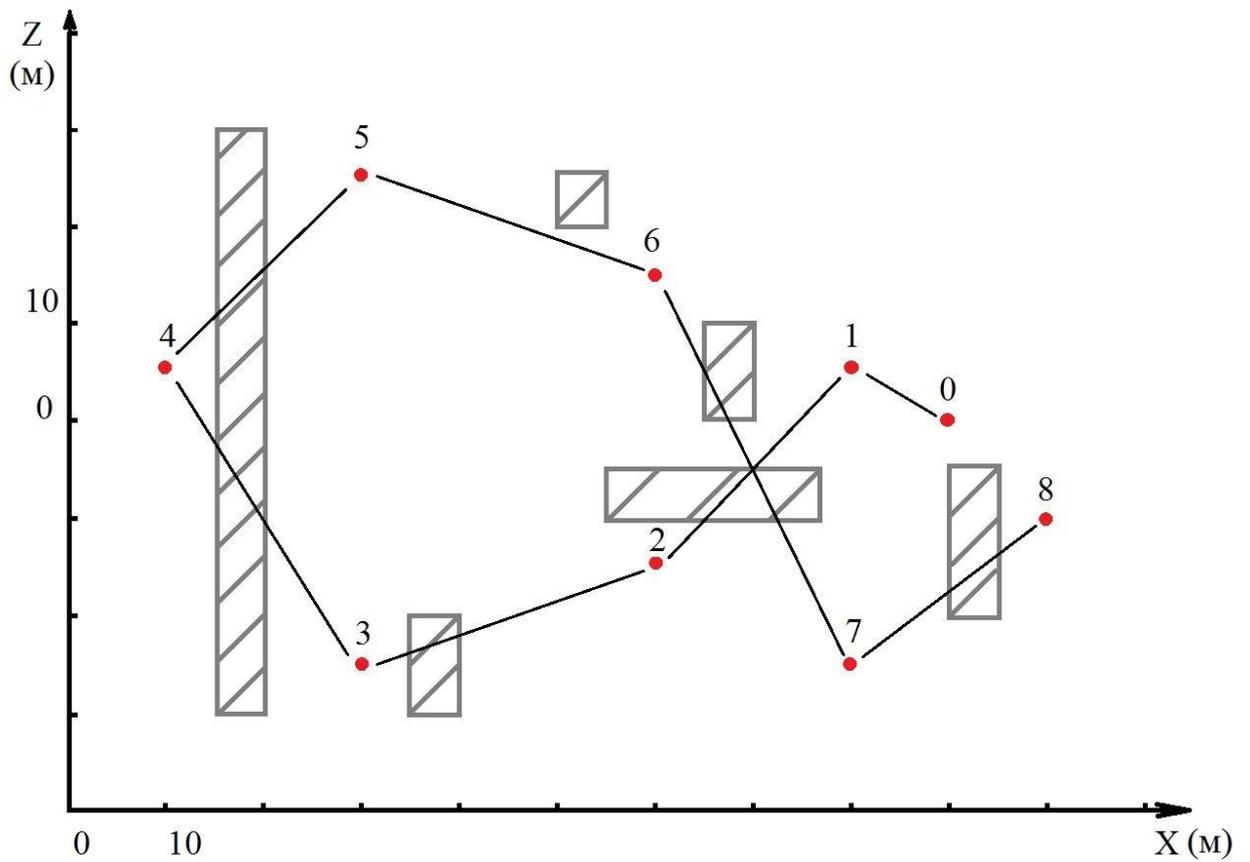


Рис. 10. Препятствия на маршруте пути.

Таблица 2.

Координаты тестовых препятствий.

№ препятствия	X- (м)	X+ (м)	Z- (м)	Z+ (м)
1	90	95	-20	-5
2	55	75	-10	-5
3	65	70	0	10
4	60	55	20	25
5	35	40	-30	-20
6	15	20	-30	30

Программа запускалась с введенными в нее тестовыми данными. Первым сообщением программа выводила координаты известных маршрутных пунктов и препятствий, что позволяло контролировать правильность записи данных в память. В качестве вспомогательных данных введен репортаж о текущем ППМ, его координатах, рассматриваемом препятствии, выборе варианта действия, наличии или отсутствии препятствия на пути, текущем состоянии счетчиков, и главное – о координатах назначенного ПППМ.

Результат работы программы по облету препятствий представлен на рис.11.

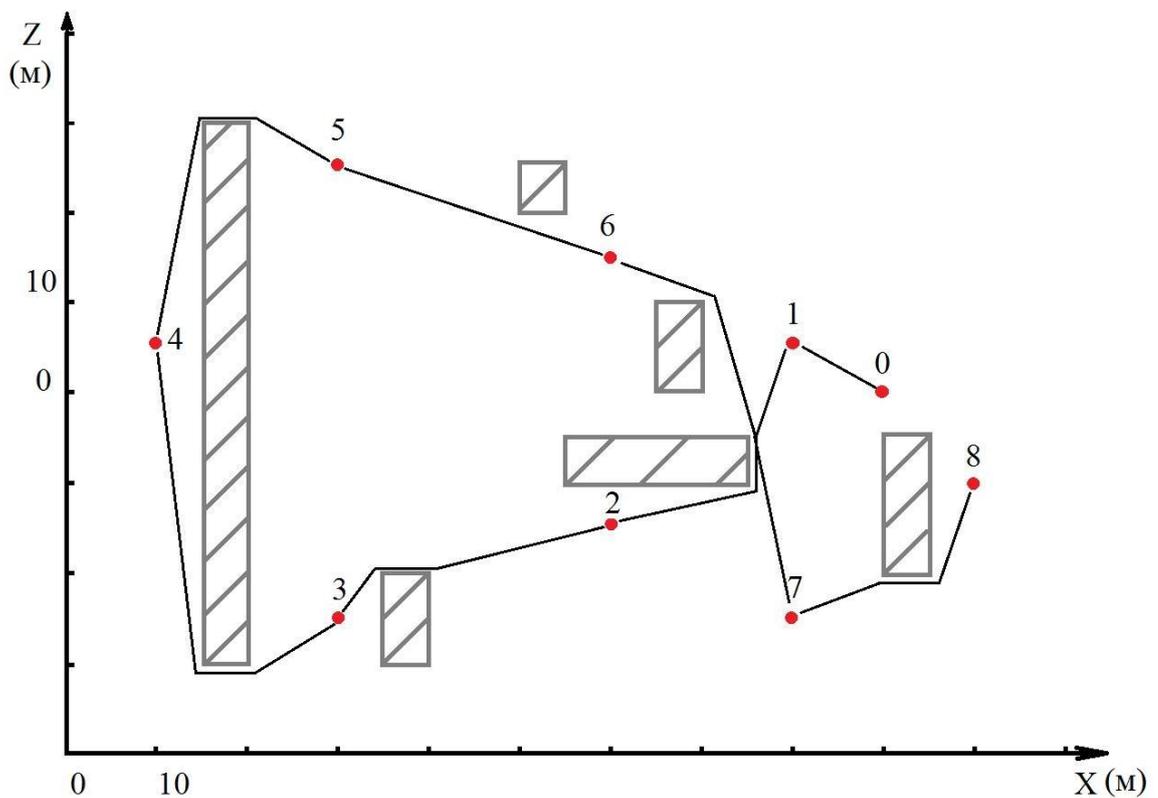


Рис.11. Результат компьютерного моделирования работы системы логического управления облетом препятствий.

В результате работы программа формирует список новых пунктов полетного задания, полет по которым позволит облететь препятствия.

5. Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Сформулирована постановка задачи логического управления маршрутным полетом БЛА при обходе препятствий и введены понятия самого логического управления и назначения уставок в регуляторы каналов продольного и бокового движения БЛА.

2. Разработан алгоритм логического управления многорежимным перелетом БЛА из одного пункта в другой при автоматическом разбиении траектории на ряд участков со своими режимами и определении границ этих участков в виде координат ПППМ, дополняющих список основных ППМ, входящих в полетное задание.

3. Показано, что при облете препятствий разработанный алгоритм в реальном времени формирует кусочно-линейную траекторию обхода вершин этого препятствия, что соответствует неоднократному переназначению уставок в регуляторы управления боковым движением БЛА.

4. Компьютерное моделирование маршрутного полета с учетом препятствий показало высокое быстродействие алгоритма на борту БЛА, а также способность формировать оперативный репортаж о фактах встречи с препятствием, выборе варианта действий и сообщать координаты вновь назначенных ПППМ для передачи на землю.

Библиографический список

1. Лебедев Г.Н., Мирзоян Л.А. Нейросетевое планирование действий по облету наземных объектов группой летательных аппаратов // *Авиакосмическое приборостроение*. 2005. №12. С. 41-47
2. Лебедев Г.Н., Румакина А.В. Нейросетевое планирование маршрута разнорысотного полета беспилотного летательного аппарата // *Авиакосмическое приборостроение*. 2014. №5. С. 3-8.