

Фрагмент 2. Документ коллекции имеющихся транспортных средств

```
{
  "_id" : "0001 ВВ-1",
  "routeID" : "2 ВамРад - Автолюбителей",
  "route" : [{
    "name" : "ВамРад",
    "needStop" : 0
  }, {
    "name" : "Новые Задворцы",
    "needStop" : 1
  }],
  "quanPassengers" : 4,
  "workAuto" : false
}
```

Зарегистрировав пользователя на маршруте, сервер отправляет номера маршрутов на которых пользователь может добраться до точки назначения, таким образом можно облегчить поиск маршрута пассажирам и показать нагрузку на маршрут водителям.

Список литературы

1. ZXing ("Zebra Crossing") библиотека сканирования штрих-кодов для Java, Android. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/zxing/zxing/> Дата доступа: 08.04.2021
2. Relational vs. NoSQL data. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/cloud-native/relational-vs-nosql-data>. – Дата доступа: 08.04.2021.
3. Руководство по MongoDB. Введение. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://proselite.net/tutorials/mongodb/introduction/>. – Дата доступа: 14.04.2021.
4. Relational vs. NoSQL data. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/cloud-native/relational-vs-nosql-data>. – Дата доступа: 08.04.2021.

УДК 623.462.22

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А. В. Лопухов, Р. С. Онищук, А. И. Федоров

*Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск
Научный руководитель: А. И. Федоров, кандидат технических наук, доцент*

Проблема синтеза регулятора для беспилотного летательного аппарата (БЛА), обеспечивающая выполнение требований к точности регулирования или попадания установившихся значений регулируемых в математической модели переменных в заданные допуски, при действии на систему внешних и внутренних возмущений, является одной из центральных задач (проблем) в теории и практике автоматического управления.

В процессе управления необходимо задать желаемые переходные процессы замкнутой системы. Такая динамика обусловлена необходимостью разработки наиболее эффективных методов синтеза регуляторов, обеспечивающих желаемые переходные процессы.

Управление любым динамическим объектом является сложно организованным и структурированным процессом, который зависит от различных факторов [1].

В общей постановке задача управления движением БЛА делится на две составляющие:

задача наведения, которая определяет траекторию движения центра масс;

задача стабилизации, определяющая положение и движение БЛА относительно центра масс.

Стабилизация БЛА в полете (задаваемая при ее старте) представляет собой процесс сохранения ориентации объекта управления в пространстве, и предотвращает ее угловые перемещения, которые не учтены методом ее наведения.

Для исключения изменения углового положения БЛА применяют систему стабилизации, которая в свою очередь состоит из автопилота и непосредственно планера и является скорректированным объектом управления. Автопилот должен как можно точнее учитывать необходимые свойства объекта управления.

Задача синтеза заключается в определении структуры и параметров контурных регуляторов, входящий в состав автопилота БЛА. Суть задачи сводится к выбору таких управляющих воздействий, при которых выходные значения БЛА будут соответствовать входным и заданным величинам или разница в значениях находилась в пределах допустимой погрешности [2].

На данный момент в теории автоматического управления используются методы внешнего воздействия на объект управления. Однако наступило время пересмотра данных подходов, и перейти к теории синергетического управления (ТСУ) [3]. При этом необходимо такое воздействие на БЛА в нелинейной динамической системе, при которой диссипативные структуры, адекватной физической (механической) сущности сможет учитывать естественные свойства объекта управления.

Синтез регулятора заключается в обеспечении требуемых (заданных) динамических свойств замкнутой системы, с одновременным синтезом такого вектора управления, который обеспечит перевод БЛА из произвольного начального состояния на некоторые инвариантные многообразия до тех пор, пока не достигнет так называемых аттракторов (желаемого конечного состояния), гарантируя при этом асимптотическую устойчивость движения [4].

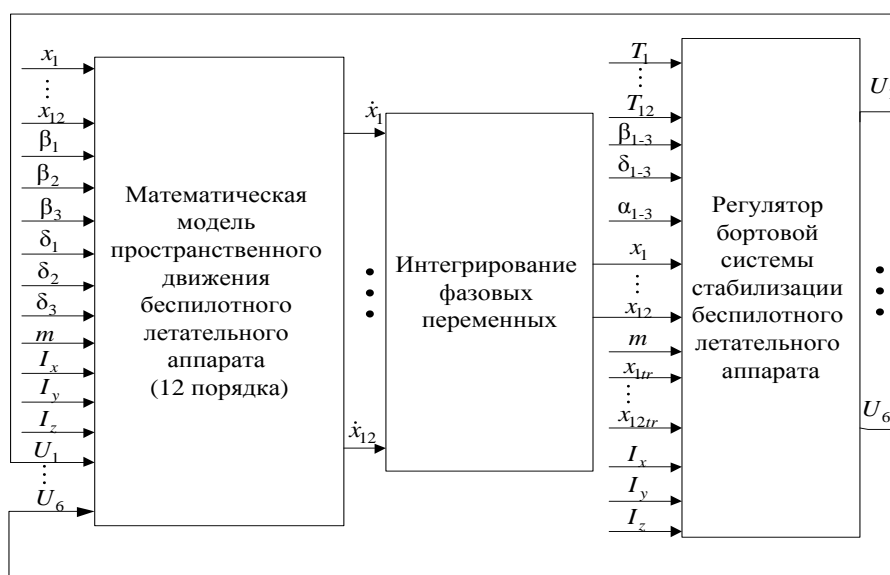


Рисунок 1 – Математическая модель пространственного движения БЛА

Переменные в дифференциальных уравнениях пространственного движения БЛА являются измеряемыми. Искомый вектор управления содержит шесть компонентов и являются выходными данными с регулятора (структурная схема которого представлена на рисунке 1).

Моделирование осуществлялось в пакете прикладных программ «Matlab», на основе полной математической модели пространственного движения БЛА.

Таблица 1 – Требуемые параметры при наведении БЛА

Параметры	Величина, размерность
Масса БЛА	$m=350$ кг
Требуемая воздушная скорость	$x_{1tr} = 900$ м/с
Требуемые векторы линейной скорости	$x_{2tr} = x_{3tr} = 0$ м/с
Требуемая минимальная дальность полета	$x_{7tr} > 900$ м
Требуемая высота полета	$x_{8tr} = 6000$ м
Требуемое боковое линейное смещение	$x_{9tr} = 0$ м/с
Требуемый угол тангажа	$x_{10tr} = 0$ рад
Требуемый угол крена	$x_{11tr} = 0$ рад
Требуемый угол рысканья	$x_{12tr} = 0$ рад
Моменты инерции относительно осей	$I_x = 48000$ кг·м ² , $I_y = 150000$ кг·м ² , $I_z = 116000$ кг·м ² .

Разработанная методика синтеза регулятора является универсальной, так как она не привязана к каким-либо особенностям компоновочной схемы летательного аппарата.

Моделирование наведения БЛА на цель, производилось при следующих ограничениях, где не учитывались:

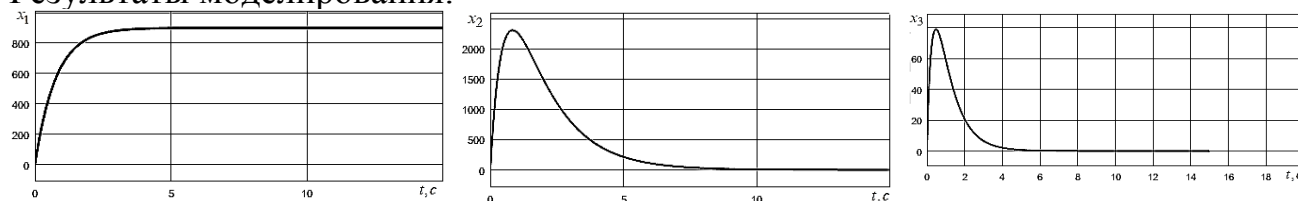
- упругие деформации конструкции элементов и планера БЛА;
- внутренние процессы считаются стационарными;
- внешняя среда считается не изменяющейся;
- вращение и кривизна поверхности Земли;
- зависимость тяги двигателя от параметров полета;
- влияние скорости полета на аэродинамические коэффициенты планера ракеты.

Параметры регулятора для обеспечения требуемых динамических свойств, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры регулятора автопилота БЛА на основе ТСУ

$T_{1,2}, c$	T_3, c	T_4, c	$T_{5,6}, c$	T_6, c	$T_{7,8}, c$	$T_{9,10}, c$	$T_{11,12}, c$
1	0,5	1	0,05	0,01	1	0,5	1

Результаты моделирования:



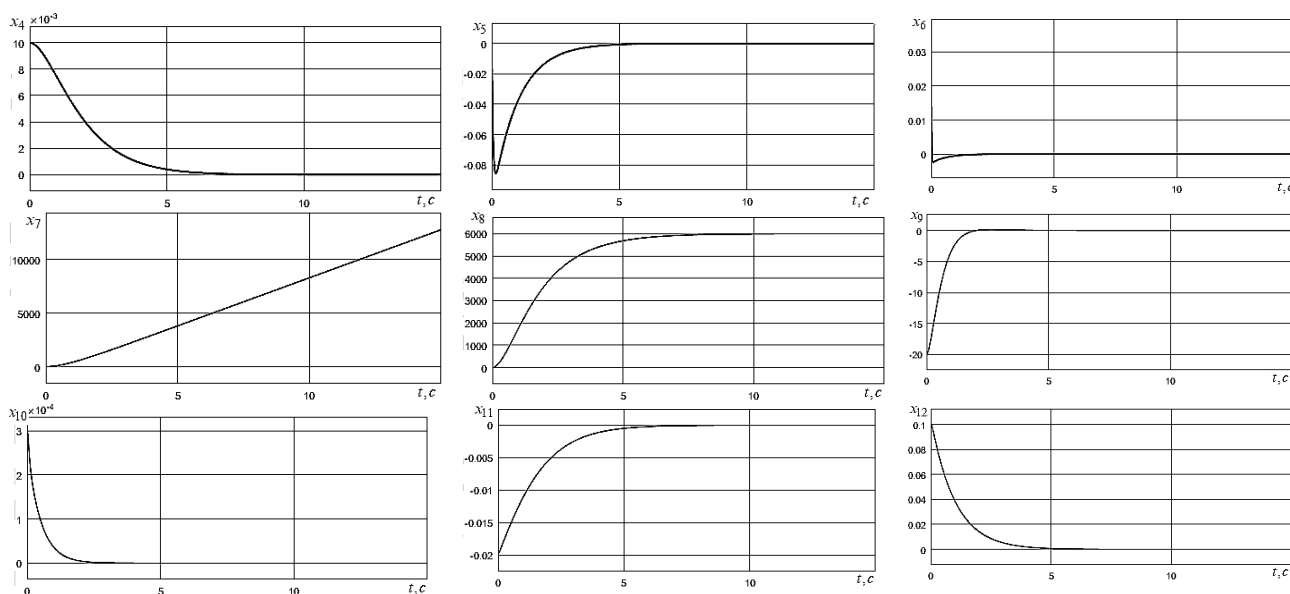


Рисунок 2 – Переходные процессы при наведении БЛА на цель

На рисунке 2 представлены переходные процессы обобщенных сил и моментов БЛА, действие которых заканчивается при достижении требуемого состояния объекта по координатам, параметры которых заданы в таблице 1. Также следует отметить, что согласно принятым допущениям отсутствует сопротивление среды, в которой находится объект.

Исходя из результатов моделирования в общей аналитической форме получены базовые кинематические законы векторного управления БЛА. То есть на данном этапе поиска законов управления осуществлена функциональная (задачно-ориентированная) декомпозиция задачи синтеза алгоритмов управления, которая теперь сводится к нахождению управляющих зависимостей от углов отклонения управляющих поверхностей на основе имеющихся базовых законов изменения обобщенных сил и моментов.

Таким образом, применение ТСУ для БЛА способно обеспечить:
 желаемую ориентацию и положение центра масс в пространстве;
 устойчивость БЛА;
 реализацию поставленных целей управления;
 адаптацию к изменению внутренних параметров и действию внешних возмущающих факторов.

Применение идей ТСУ, способен обеспечить реализацию требуемых режимов движения и учитывать естественные нелинейные свойства ее математической модели. В таком подходе используется координированное управление по всем переменным с целью перевода объекта в желаемое состояние. При этом связь между каналами управления осуществляется не косвенно, через объект управления, а непосредственно формируется в регуляторе, что в свою очередь позволяет повысить динамические свойства объекта управления.

Список литературы

1. Колесников, А. А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза / А. А. Колесников. – М. : Едиториал УРСС, 2005. – 229 с.
2. Красовский, А. А. Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование / А. А. Красовский. – М. : Наука, 1973. – 560 с.
3. Кун, А. А. Основы построения систем управления ракетами / А. А. Кун, В. Ф. Лукьянов, С. А. Шабан. – Минск : ВА РБ, 2001. – 131 с.
4. Пупков, К. А. Высокоточные системы самонаведения. / К. А. Пупков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 512 с.