

УДК: 629.73-027.31

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО
ДИСТАНЦИОННО-ПИЛОТИРУЕМОГО СЕЛЬХОЗСАМОЛЕТА
(БДПС) НА БАЗЕ САМОЛЕТА МВ-500.**

*Деваев В.М. доцент КНИТУ-КАИ, г. Казань, РФ, Маханько А.А. доцент
КНИТУ-КАИ, г. Казань, РФ*

**DEVELOPMENT OF THE REMOTELY PILOTED AGRICULTURAL
AIRCRAFT (RPAА) CONTROL SYSTEM ON THE BASIS OF THE
AIRPLANE MB-500**

*Devaev V.M., assistant professor KNRTU-KAI, Kazan, RF, Makhanko A.A.,
assistant professor KNRTU-KAI, Kazan, RF*

Аннотация.

В статье приведены промежуточные результаты разработки системы управления дистанционно-пилотируемого сельхозсамолета (БДПС) на базе самолета МВ-500. Разработана концепция комплекса для авиахимработ (АХР) полей, акваторий, лесов. Базовым компонентом комплекса является пилотируемый сельхозсамолет МВ-500 разработки ООО «Фирма «МВЕН» (г. Казань). Доработка заключается в оснащении самолета системой автоматизированного управления, обеспечивающей дистанционное управление взлетом и посадкой и автоматическое управление полетом на сверхмалой высоте при выполнении АХР.

Abstract

The article presents the intermediate results of developing a control system for a remotely piloted agricultural aircraft (RPAА) based on an MV-500 aircraft. The concept of a complex for air-chemical works (ACW) of fields, water areas, forests has been developed. The basic component of the complex is a manned MV-500 agricultural plane developed by LLC "Firm" MVEN "(Kazan). The finalization consists in equipping the aircraft with an automated control system that provides remote control of take-off and landing and automatic flight control at extremely low altitude in the ACW mode.

Ключевые слова: авиационно-химические работы, беспилотный дистанционно-пилотируемый самолет, система автоматического управления, планирование траекторий

Key words: aviation-chemical works, unmanned remotely-piloted aircraft, automatic control system, trajectory planning

Использование летательных аппаратов тяжелее воздуха для АХО началось с 20-х годов 20-го века и является актуальным поныне. Первое упоминание об использовании самолета для распыления пестицидов в США относится к 1922 году, в это же время начались эксперименты по АХР в СССР [3]. В настоящее время для АХР также используются беспилотные ЛА (БПЛА), в основном, типа коптеров и вертолетов [4]. По сравнению с

пилотируемыми ЛА БПЛА массой до 30 кг более доступны и не требуют лицензирования для использования. В то же время в мире существует большой парк пилотируемых сельскохозяйственных самолетов, которые более эффективны с точки зрения их грузоподъемности и производительности, но их пилотирование требует высокого уровня подготовки летного состава для выполнения полетов на сверхмалой высоте (2-10 м) и энергичных разворотов на границах участков. Указанные причины определяют актуальность создания комплекса АХО на базе сельхозсамолета [5].

В состав комплекса БДПС входят следующие компоненты:

- самолет сельскохозяйственного назначения МВ-500, оборудованный дополнительной системой управления и связи, позволяющей ему взаимодействовать с другими элементами комплекса;
- наземный пост управления, с помощью которого можно осуществлять дистанционное пилотирование, контроль систем самолета, подготовку картографической информации, а также планирование обработки и маршрутов полета;
- система локального позиционирования, необходимая для точного определения положения самолета над обрабатываемым участком;
- дополнительное оборудование самолета, используемое при картографировании обрабатываемого участка;
- средства наземного обслуживания самолета и оборудования комплекса;
- средства стационарного обслуживания и ремонта компонентов комплекса.

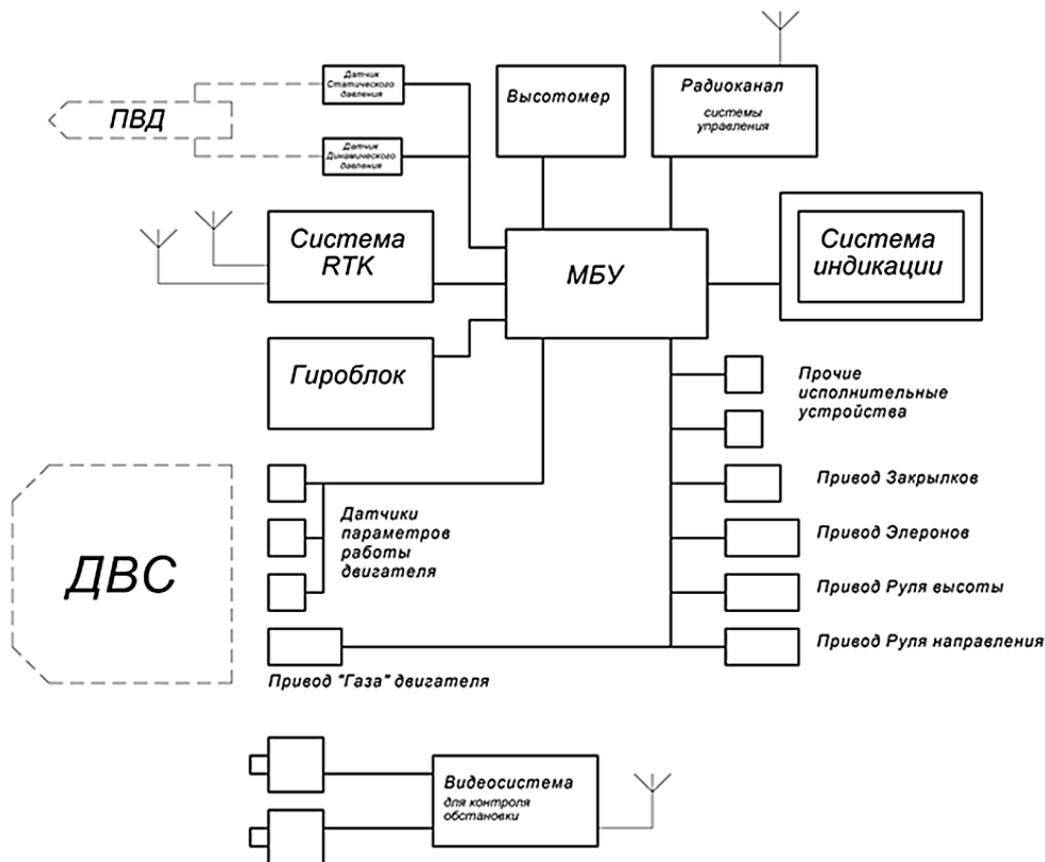


Рис. 1. Структура бортовой системы автоматического управления МВ-

500

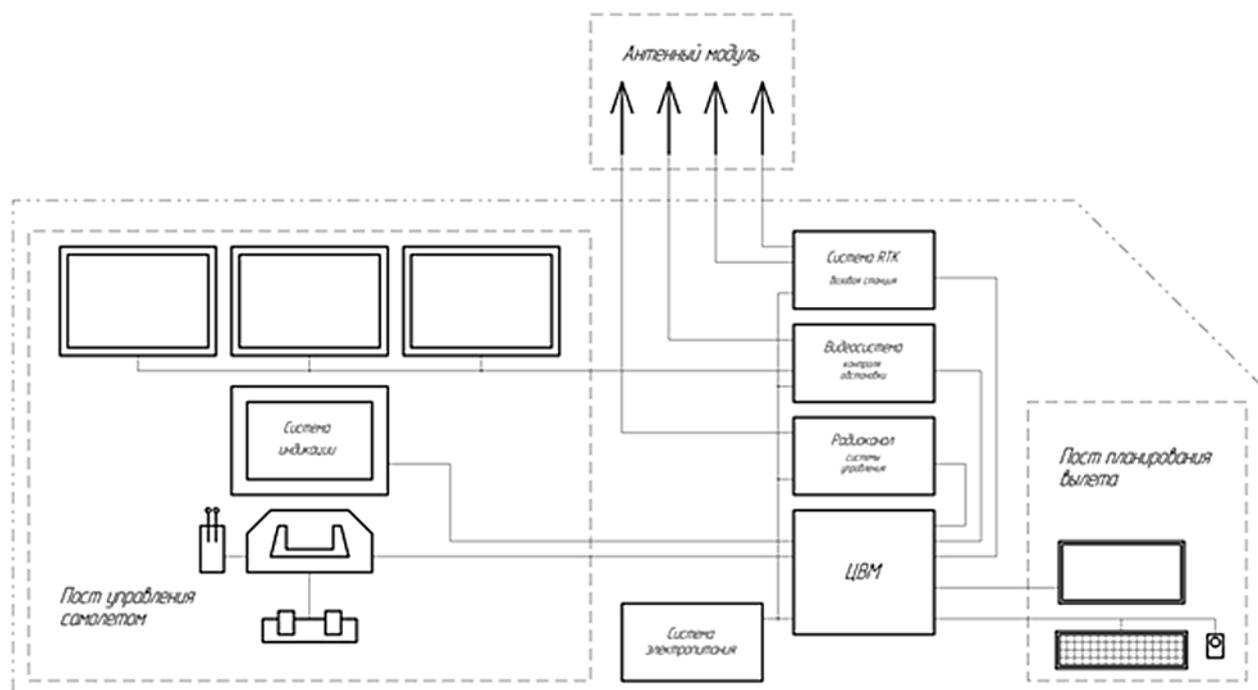


Рис. 2. Структура наземного пункта управления

Комплекс обеспечивает:

- автоматизированный взлет и посадка в режиме дистанционного пилотирования;

- автоматическое управление полетом по заданному маршруту для сканирования рельефа обрабатываемых участков;
- автоматическое управление полетом на сверхмалой высоте с огибанием рельефа местности для распыления веществ.

Взлет, посадка, вывод самолета в зону обработки предлагается производить с помощью летчика-оператора. Наземный пункт управления должен обеспечивать передачу и отображение на экране оператора различных видов с борта самолета и пилотажно-навигационной информации. Оператор может управлять поочередно несколькими самолетами на этих этапах полета.

В автоматическом режиме осуществляются полеты для решения целевых задач АХО. При этом необходимо обеспечить:

- выдерживание заданной траектории полета относительно плана участка с точностью до 1 м (СКО);
- выдерживание высоты над посевами с точностью до 0,3 м (СКО);
- выдерживание скорости полета с точностью 1 м/с (СКО);
- стабилизацию углового положения во время гона с точностью до 1 градуса (СКО);
- выполнение разворота в конце прямого участка гона на высоте не менее 50 м над препятствиями с соблюдением рекомендаций п.п. 8.4 РЛЭ в зависимости от методики выполнения АХР (челночный или загонный метод);
- точность выведения на следующий участок гона после выполнения разворота или возобновления АХР после перерыва, связанного с дозаправкой, техобслуживанием и прочими причинами по координатам 0,3 м (СКО), по истинному курсу 1 градус (СКО).

Для автоматического управления полетом на малой высоте необходимо измерять следующие параметры полета:

- угловое положение и угловые скорости самолета (точность 0,5%, диапазон $\pm 150^\circ/\text{с}$);
- перегрузки вдоль связанных осей самолета (точность 0,5%, диапазон $\pm 30\text{м}/\text{с}^2$);
- положение самолета относительно земной системы координат, начало которой определено относительно базовой точки на электронной карте (точность 0,1-0,5м)

Система высокоточного позиционирования самолета является ключевой в проекте, так как только с ее помощью можно обеспечить управление высотой полета в диапазоне от 2 до 10 м при скорости полета 160

км/час. При такой скорости полета на низкой высоте весьма проблематично (а фактически - невозможно) применение бортовых систем измерения текущей высоты с помощью радиотехнических или оптических систем, сканирующих высоту по направлению полета.

Поэтому на борту установлена система высокоточного позиционирования RTK (Real Time Kinematic – дословно «кинематика реального времени») – совокупность приёмов и методов измерения координат и высот точек местности сантиметровой точности с помощью спутниковой системы навигации посредством получения поправок с базовой станции. Методология автоматического управления полетом в режиме АХО предусматривает формирование программной пространственной траектории движения ЛА и выдерживание этой траектории с помощью автопилота.

Для формирования программной траектории необходимо иметь трехмерную карту обрабатываемого участка с учетом высоты растительности и искусственных препятствий. Обзор существующих глобальных цифровых моделей высот представлен в Интернет-ресурсе [1],[2]. Точность представления рельефа с помощью ГИС на территории РФ не соответствует потребной и составляет единицы метров (СКО). Но даже информация с точностью представления до 0,5-1 м (СКО) предоставляется на коммерческой основе.

Поэтому предложен метод построения цифровой карты рельефа обрабатываемого участка с уточнением наличия препятствий непосредственно перед проведением АХР в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Загрузить в ГИС существующие карты местности, на которой расположен участок, например кадастровые карты.
2. Провести картографирование рельефа обрабатываемого участка с помощью того же БПДС в режиме автоматического или пилотируемого полета. Измерение высоты точек участка производится с помощью высотомера истинной высоты (радио или/и оптического) и системы точного измерения высоты высокоточными методами спутниковой навигации. Траектория в горизонтальной плоскости планируется таким образом, чтобы учесть особенности рельефа. Частота измерения координат определяется таким образом, чтобы построить сетку с шагом 30 м. На скорости полета 160 км/час это соответствует 1 измерению в 1,5 сек.

Высота в земной системе координат вычисляется по формуле:

$$H_{\text{тек}}=H_{\text{баз}}-H_{\text{ист}} \quad (1)$$

– где $H_{\text{тек}}$ - высота текущей точки в земной системе координат,

- $H_{ист}$ -высота полета самолета относительно поверхности земли (измеряется высотомером истинной высоты при малых значениях тангажа и крена ЛА),
 - $H_{баз}$ - высота полета самолета относительно земной системы координат (измеряется спутниковой системой позиционирования).
3. Провести предполетный осмотр участков и прилегающих территорий для выявления изменений на карте, произошедших после очередного картографирования (появление новых инфраструктурных объектов, техники, сооружений, других объектов), внести выявленные изменения на карту;
 4. Сформировать подробные пространственные цифровые карты обрабатываемых участков и прилегающих территорий с учетом препятствий. Использование ГИС позволит автоматизировать планирование АХР, включающее расчет времени выполнения работ, планирование траекторий обработки, расход топлива и реактивов, расположение площадок взлета и посадки, заправки и технического обслуживания самолета. Также планируется выбор оптимальных траекторий гонов с точки зрения минимизации: времени обработки, расхода топлива и реактивов. Для этого на карту наносятся площадки для взлета и посадки, заправки самолета топливом и химикатами, установить навигационные устройства для посадки и взлета (дополнительные базовые станции).
 5. Построить программную траекторию движения самолета (рис.3) в плоскости земли во время выполнения гонов и разворотов. Траектория строится с учетом технических характеристик оборудования, режимов распыления веществ, высоты и скорости полета, скорости и направления ветра [5].
 6. Дополнить программную траекторию в плоскости земли третьей координатой – высотой полета в земной системе координат. Высота полета определяется высотами точек поверхности земли, заданными в земной системе координат и заданной высотой полета при выполнении гонов и разворотов. Траектория полета в вертикальной плоскости строится как огибающая заданных координат в земной системе, кривизна траектории определяется допустимыми перегрузками. Частота сетки построения траектории составляет по предварительной оценке 10 м.

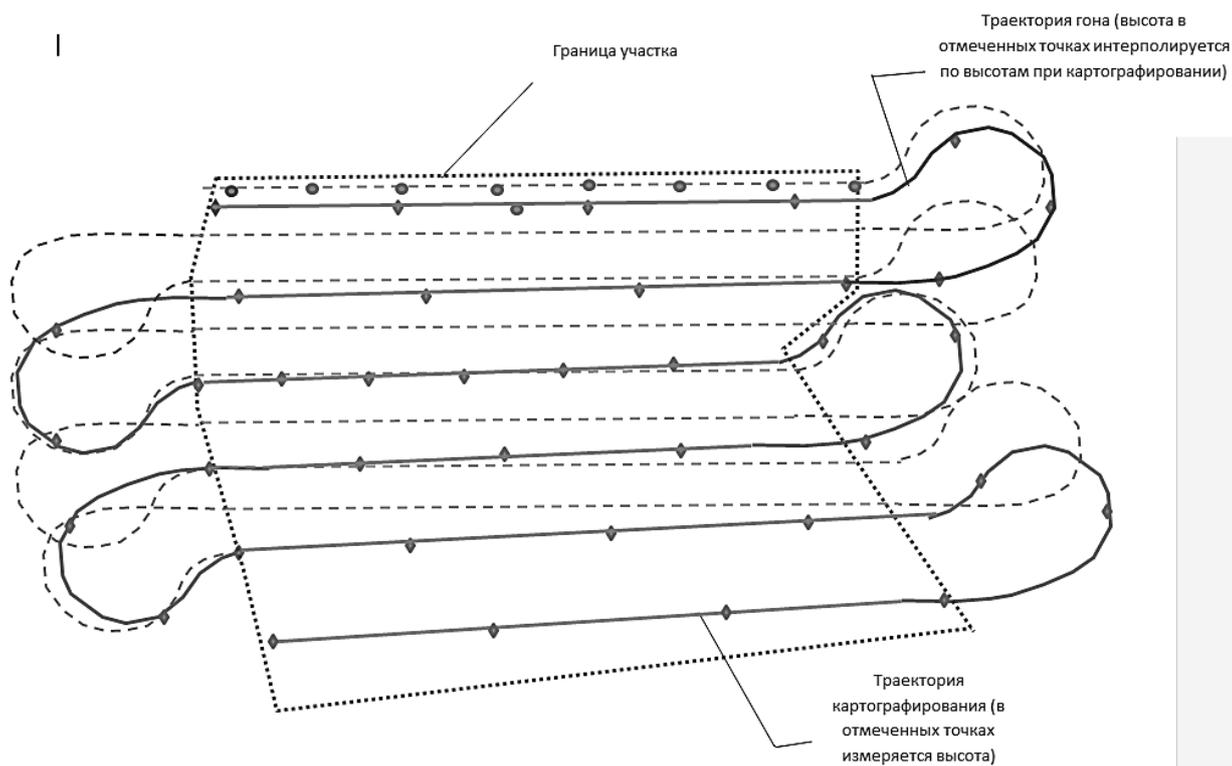


Рис.3. Схема построения траектории картографирования и гонов

Для отработки комплекса создана модель самолета МВ-500 в масштабе 1:5 и проведены ее испытания в режиме дистанционного пилотирования.



Рис. 4. Модель самолета в полете.

К настоящему времени изготовлены и протестированы следующие компоненты системы:

-система спутникового позиционирования RTK, позволяющая с частотой до 10 гц измерять 3 координаты ЛА с точностью до 5 см на расстоянии до 30 км до собственной базовой станции;

-система FPV+OSD для получения изображения с бортовых телекамер с наложением телеметрической информации с борта модели;

-автопилот на базе микроконтроллера STM-32, MEMS датчиков, измерителей статического и динамического давления;

-система картографирования на базе микроконтроллера STM-32, RTK, высокоточных датчиков высоты (радио и лазерного).

На рис. 5 показаны результаты тестирования системы позиционирования в динамическом режиме. Подвижный блок перемещался по замкнутой траектории в форме прямоугольника размеров 60x80 см и по высоте на 50 см.

Для формирования трехмерной карты обрабатываемого участка и формирования программных траекторий полета использовалось бесплатное программное обеспечение геоинформационной системы (ГИС) Google Earth и сетевые ресурсы для конвертирования файлов ГИС в формате KLM в табличные наборы данных и обратно.

1. На карте Google Earth выбирался участок для АХР и на поверхности Земли строилась трасса полета для картографирования и трасса полета для выполнения АХР.
2. Трассы экспортировались из приложения в набор данных и таблицу Microsoft Excel. Набор данных трассы картографирования дополнялся планируемой высотой полета в абсолютной системе координат и размещался в энергонезависимой памяти автопилота. Этот набор данных определяет программную траекторию полета в режиме картографирования.
3. В процессе картографирования набор данных дополнялся относительной высотой, измеренной бортовыми высотомерами и размещался в памяти бортовой системы картографирования совместно с фактическими координатами самолета в плоскости Земли и его угловым положением относительно осей земной системы координат.

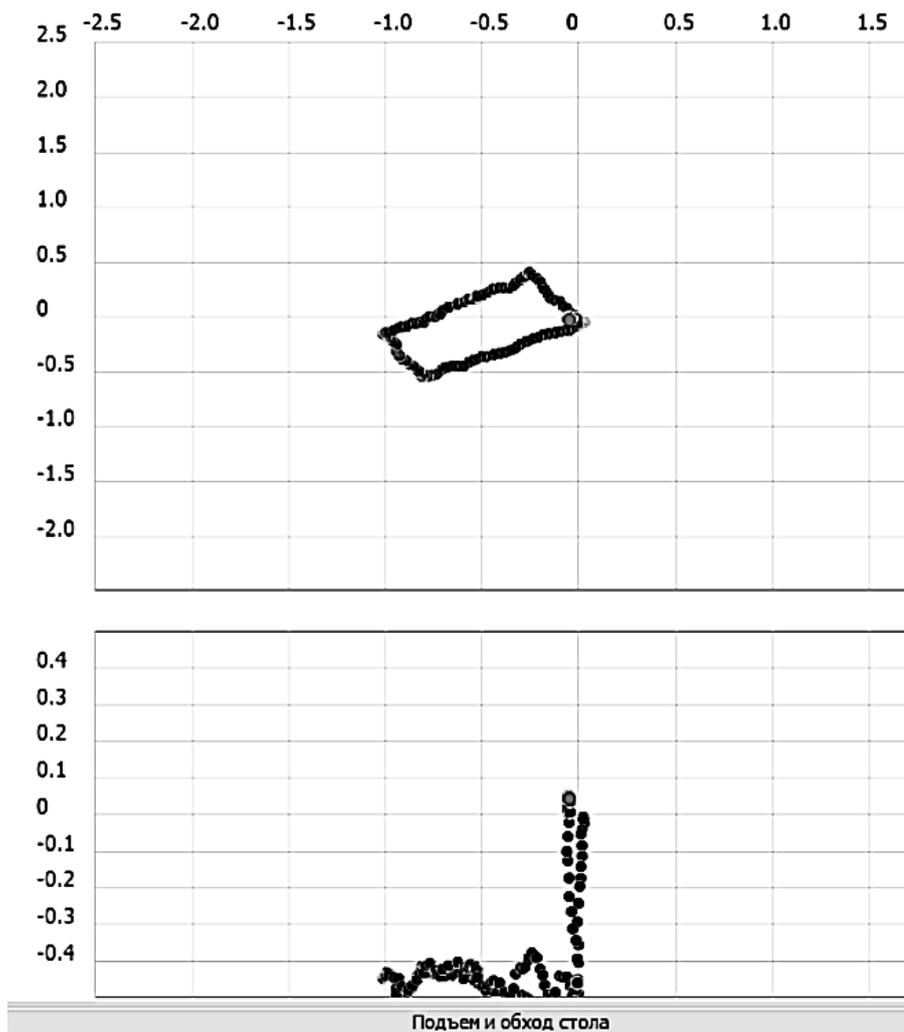


Рис. 5. Тестирование RTK

4. Из полученного набора данных выбирались те, где значения углов тангажа и рыскания не превышали 3 градусов и формировался набор точек рельефа по формуле (1), трасса полета для АХР дополнялась абсолютной высотой, полученной путем интерполяции из данных профиля, сформированного при картографировании.
5. Сформированный таким образом набор данных представлял собой программную траекторию полета для выполнения АХР.
6. Для наглядности этот набор импортировался через KLM-файлы в карту Google Earth.

На рис. 6 представлены графические представления траекторий картографирования и АХР в привязке к карте Google Earth. Для наглядности траектории разнесены по высоте.

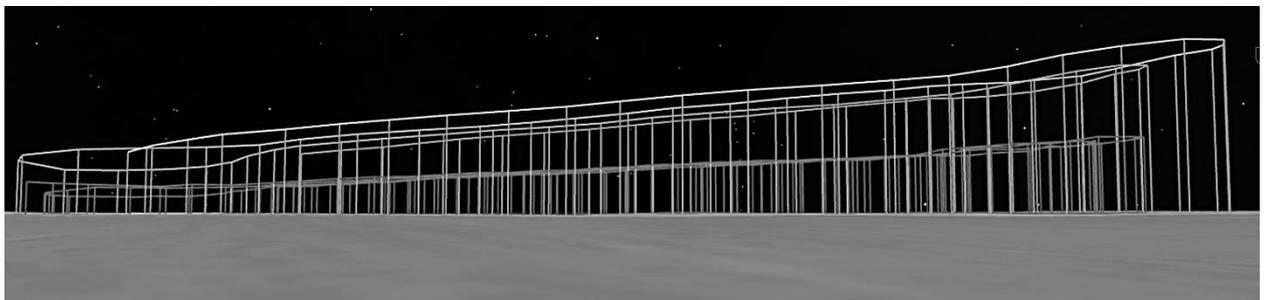
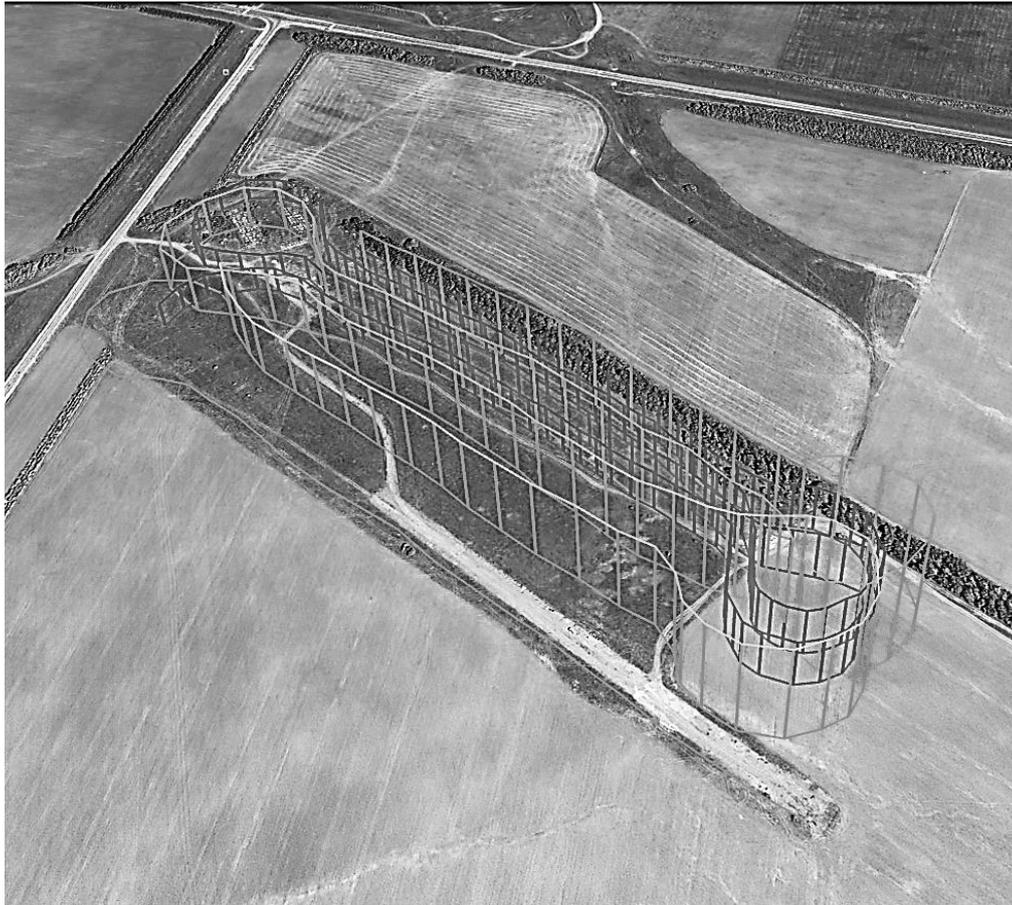


Рис.6. Привязка траекторий полета ЛА во время АХР к карте местности.

Литература

1. <http://www.sovzond.ru/products/spatial-data/digital-models> [Электронный ресурс]
2. <http://www.racurs.ru/wiki/index.php> [Электронный ресурс]
3. The Role of aerospace technology in agriculture. NASA CR-145218. 1977
4. Использование беспилотных летательных аппаратов — новое слово в прогрессивном земледелии. К.В. Васин, С.Г. Герасимова Журнал «Геопрофи». Май 2014, с. 46-50 <http://www.geoprofi.ru/issues/6925>
5. Квонтик Х.Р. Справочник пилота сельскохозяйственной авиации: Пер. с англ. — М.: Транспорт, 1991.