

Пункты наземного управления.
Требования и задачи.

Пункты наземного управления (НПУ)

Цент управления БПВС, который предоставляет возможности для управления беспилотными летательными аппаратами человеком.



Требования и задачи

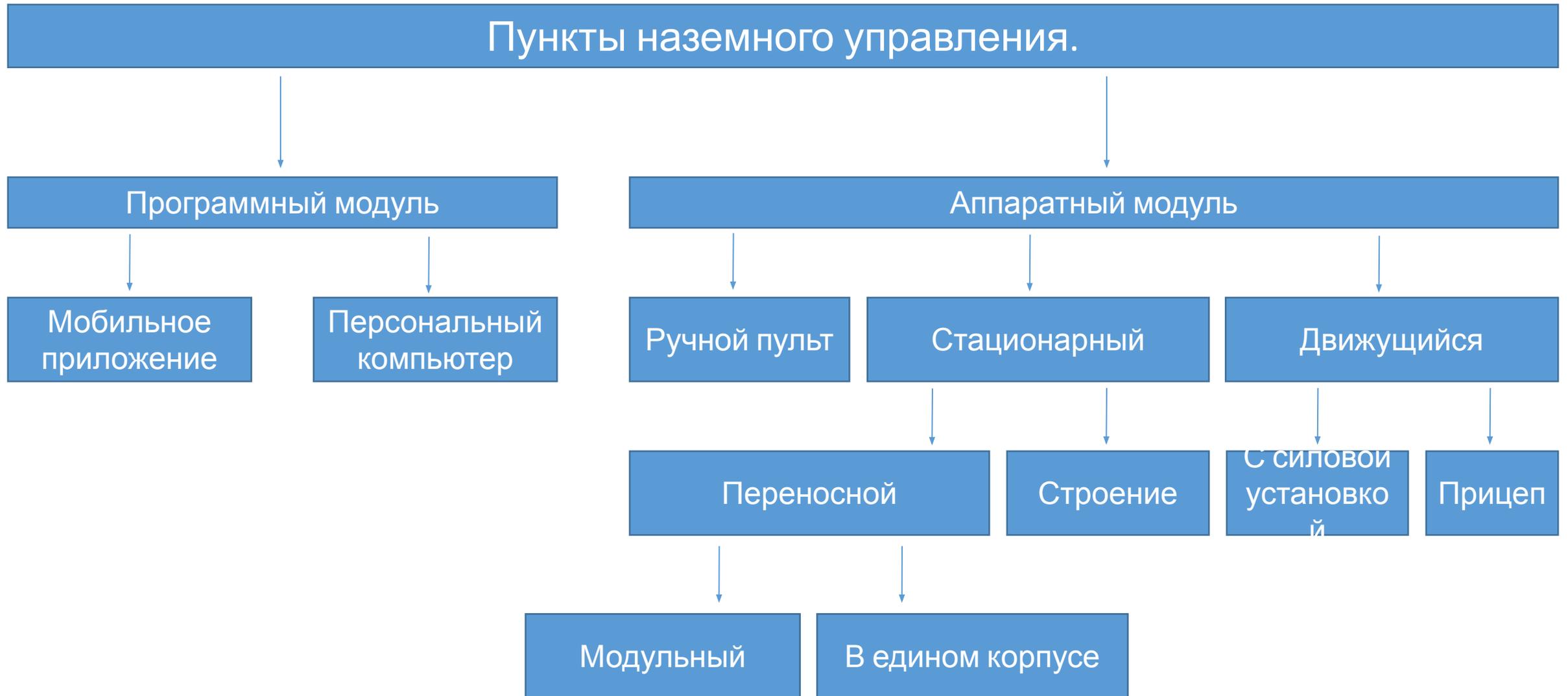
- Обеспечение устойчивой связи с БПВС по различным каналам (спутниковая связь, радио-диапазон, wi-fi, LTE, провод и т.п.);
- Обеспечение контроля всех каналов управления БПВС;
- Эргономичность управления;
- Управление и настройка бортовых датчиков БПВС.
- Отображение телеметрии с борта в реальном времени с возможностью переключения и настройки кадров отображения.
- Создание и редактирование маршрутов, включая дистанционный способ передачи нового полетного задания;
- Контроль системы дистанционного управления;
- Подстройка алгоритмов СДУ в реальном времени.
- Управление полезной нагрузкой.
- Работа в различные погодные условия
- Работа в режиме «Hardware-in-the-loop»

Состав НПУ

Наземная станция управления включает в себя:

- Системы связи и линии передачи данных, необходимые для доступа к бортовым системам БПВС, включая резервные линии.
- Системы отображения телеметрии и оповещения операторов о состоянии БПВС
- Механический пульт
- РУС и РУД
- Клавиатура и мышь для каждого оператора.
- Источник питания
- Может быть стационарным или мобильным устройством.

Виды НПУ



Программный пункт управления Мобильное приложение

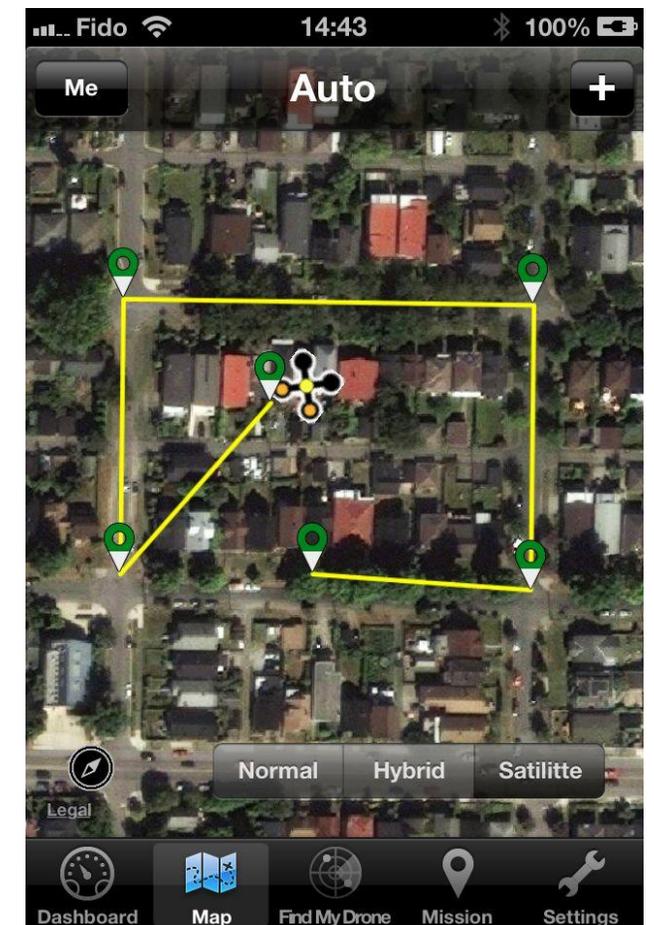
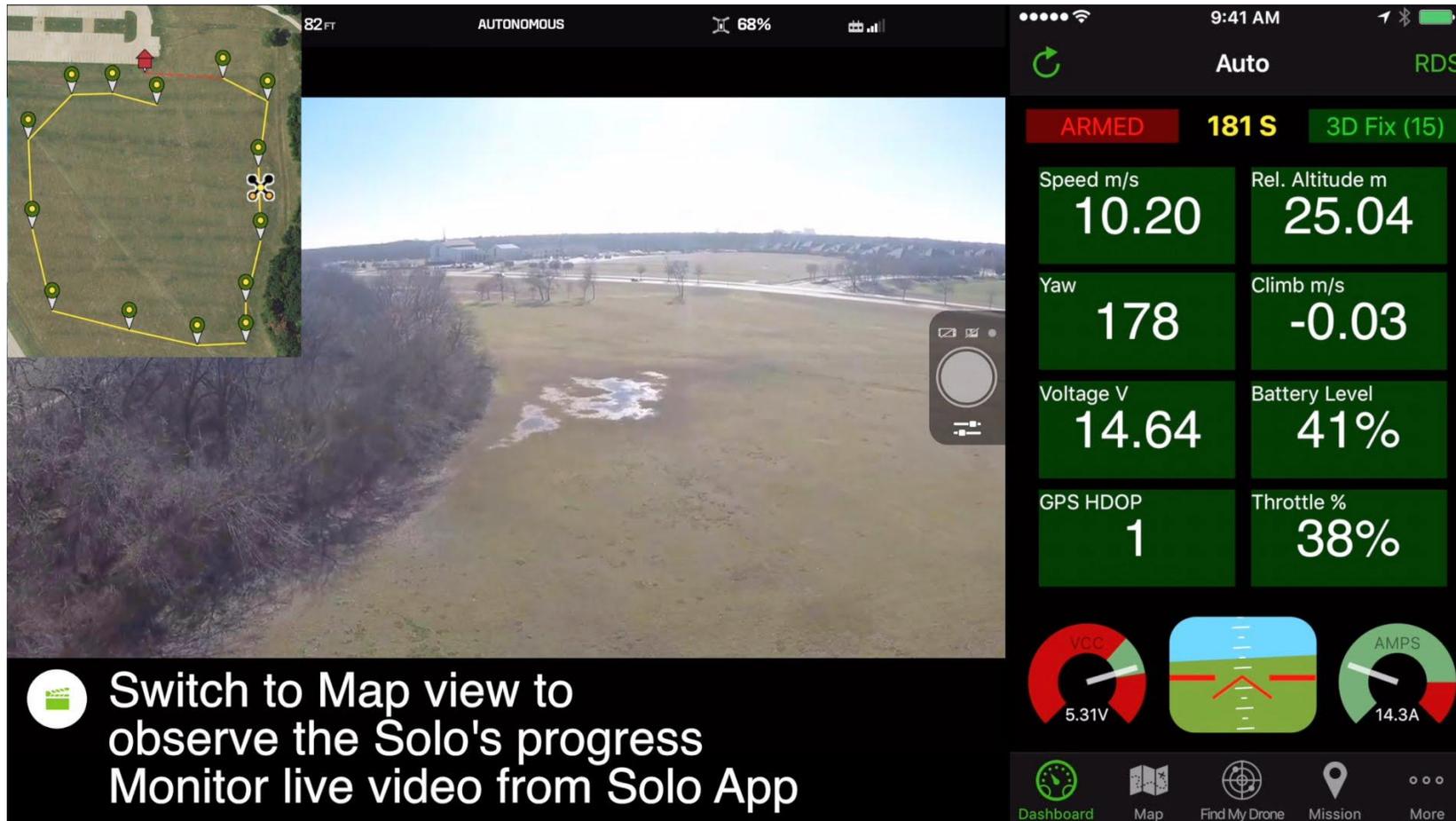
Достоинства:

- Устанавливается на устройства, доступные большому количеству людей;
- Кроссплатформенность;
- Интеграция с датчиками мобильных устройств – акселерометры, гироскопы, барометр, GPS/ГЛОНАСС.
- Интегрированная система связи, включая GSM связь, Wi-Fi, LTE 4G и т.д.
- Сенсорный экран отображения пилотажной информации.
- Запись телеметрии.
- Возможность объединения устройств в кластер.
- Синхронизация с персональным компьютером.
- Видеосвязь

Недостатки:

- Малый набор основных функций управления
- Набор функций ограничен мобильным устройством.
- Для доступа к полному набору функций требуется синхронизация с компьютером
- Вычислительная мощность ограничена размерами мобильного устройства
- Мощность антенны;
- Способ управления:

Программный пункт управления Мобильное приложение



MAV Pilot 1.4

Программный пункт управления Персональный компьютер

Достоинства:

- Устанавливается на устройства, доступные большому количеству людей
- Кроссплатформенность
- Широкий функционал
- Высокая вычислительная мощность персональных компьютеров.
- Объединение в кластер
- Легкое подключение периферийных устройств – джойстики, панели кнопок и тумблеров, антенны и т.п.
- Настройка алгоритмов, каналов связи, телеметрии.
- Модульность.

Недостатки:

- Необходимость подключения периферийных устройств.
- Внешний источник питания

Программный пункт управления Персональный компьютер



Аппаратный пункт управления

Ручной пульт

Простейший пульт управления помещающийся в руках, с минимальным функционалом:

- Контроль БПВС по всем каналам управления;
- Переключение режимов управления – ручной, полуавтомат, автопилот;
- Индикация необходимой пилотажной информации.
- Радиосвязь.
- Видеосвязь.
- Запись телеметрии и видео с камеры.
- Автономность.

Ручной пульт удобен для управления БПВС в зоне прямой видимости, поэтому он является частью большинства портативных НПУ как легко-переносимый модуль, связанный дистанционно с основным вычислителем НПУ.





7.0V

H104

59.1m

17.3m

GPS



RTH



GPS 12 N27.5716400° E120.4753550°

GPS Hold



Передвигающиеся НПУ

Плюсы:

- Полная автономность работы
- Быстрая смена позиции
- Оперативная развертка
- Работа НПУ во время движения
- Возможность работы нескольких операторов
- Возможность вывода полной телеметрии.
- Мощные антенны с различными диапазонами передачи данных.
- Машина может быть бронированной.

Минусы

- Целесообразность и стоимость
- Сложность комплекса повышает вероятность выхода его из строя.













Стационарный пункт управления Центр управления полетами



Переносной НПУ

Наиболее распространенные вид НПУ.

Как правило состоит из:

- Основа - персональный ПК, ноутбук. Возможно сборка из нескольких ПК меньшего размера.
- Один или два экрана.
- Антенны связи с БПВС и ручным пультом управления
- Различные преобразователи каналов связи
- Коммутатор
- Джойстик
- Ручка управления двигателем
- Клавиатура
- Мышь
- Дополнительная панель с кнопками и тумблерами.
- Подогрев составляющих комплекса
- Защита от механических повреждений
- Защита от попадания воды и пыли
- Блок питания с возможностью обеспечения бесперебойной работы.
- Ручки для переноски
- Стол или корпус

Неразборный переносной НПУ

Полностью собранный комплекс наземного управления БПВС, готовый к использованию оператором в течении минуты с момента открытия крышки корпуса. В комплекс входят все необходимые для управления устройства - такие как складной джойстик, РУД, антенны и т.п.

Компактность сборки позволяет сократить количество людей, занятых только переноской и сборкой комплекса в отличии от модульного НПУ, что сокращает время развертки перед полетом.

Такие НПУ могут не содержать автономный источник питания из-за компактной сборки, веса комплекса и целесообразности, а следовательно требуют внешний генератор.

Как правило обеспечивает место для работы одного оператора и внешнего пилота с ручным пультом управления







Модульный переносной НПУ

Такой НПУ состоит из отдельных модулей, собирающийся перед полетом и разбирающийся для транспортировки.

В силу более малых размеров отдельных модулей состоит из большего количества элементов, подключаемых опционально.

Например, модульный НПУ в составе полного комплекса содержит:

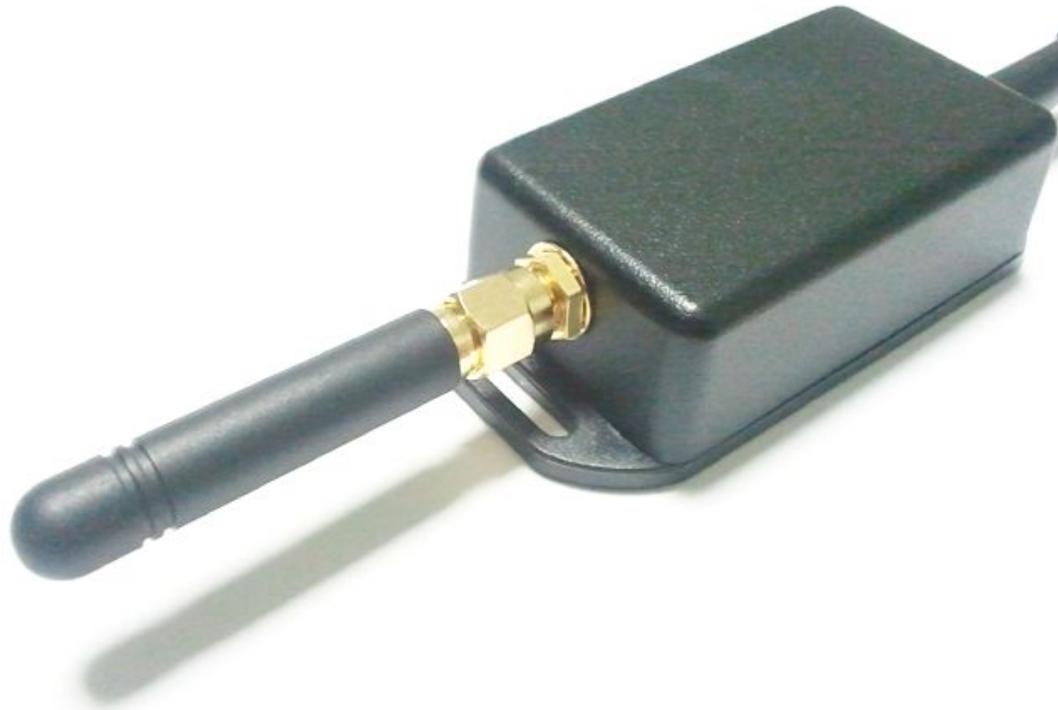
- Модуль вычислителя, включая резервный.
- Количество экранов не ограничено корпусом НПУ.
- Модуль бесперебойного питания.

Требует время на сборку и разборку комплекса.



Периферийные устройства НПУ

Радиомодем с
мачтой



Барометр



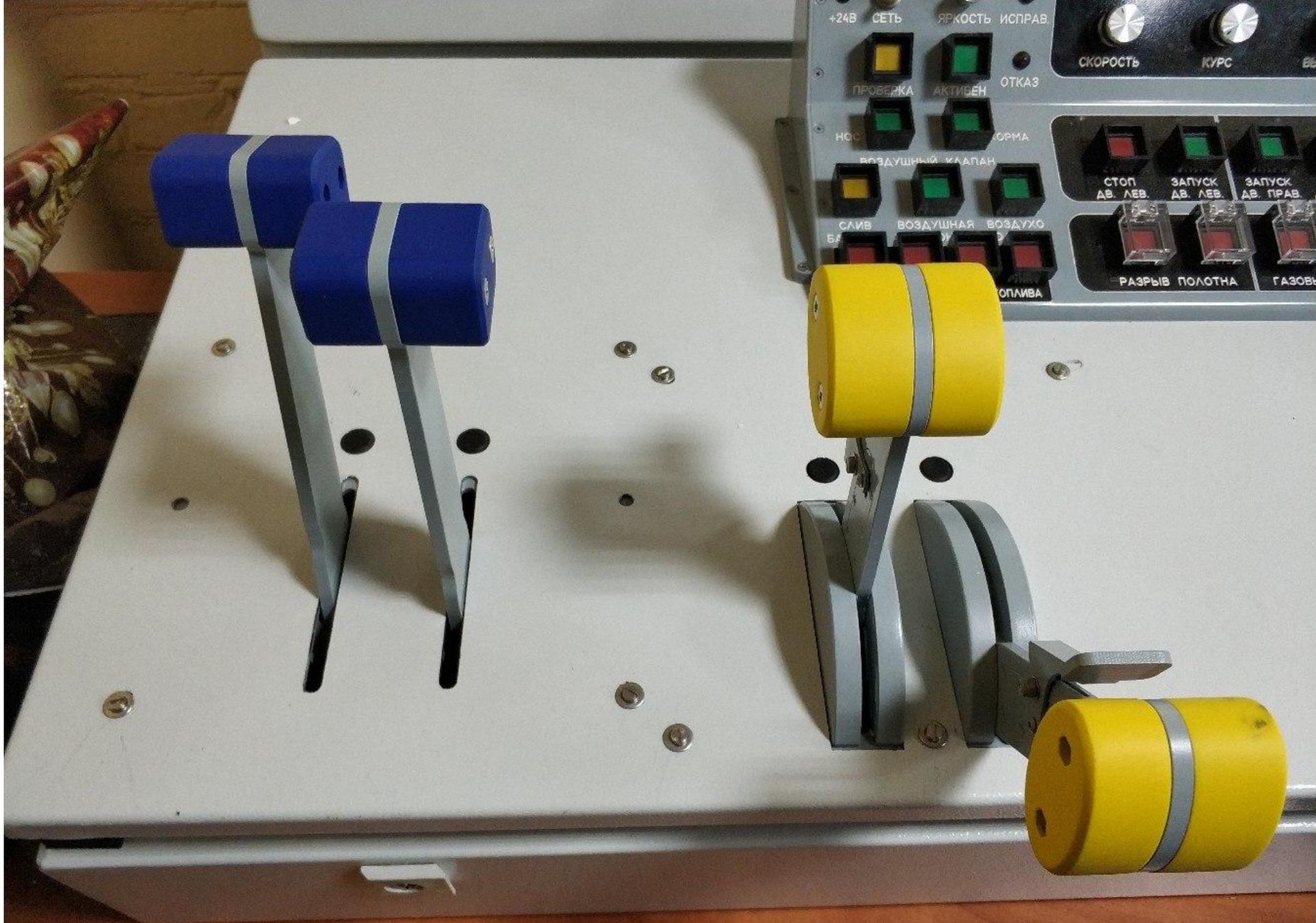
Периферийные устройства НПУ

Джойстик и ручка управления двигателем



Периферийные устройства НПУ







Периферийные устройства НПУ

Очки дополненной реальности



Шлем виртуальной реальности



Дополнительная панель с кнопками и тумблерами



Источник питания



Информационное обеспечение пилота

Внешний оператор БПВС управляет аппаратом за счет джойстика/штурвала, ручкой управления двигателем, педалями или стиком управления килем, набором кнопок и т.п.

При управлении оператор получает в основном зрительную информацию, в отличие от лётчика самолета, испытывающий еще и перегрузки. Поэтому важно правильно организовать место работы внешнего пилота и оператора.

Внешний пилот при управлении с ручного пульта должен занять местоположение из которого он будет визуально наблюдать аппарат без помех. Хорошим положением при взлете и заходе на посадку является начало взлетной полосы. Таким образом пилот может вести БПВС ровно вдоль ВПП. Полетные данные о высоте, скорости и крене должны поступать к летчику непрерывно.

Оператор НПУ также желательно без помех визуально наблюдать БПВС при взлете и посадке, если такое в принципе возможно. Пример исключений – ЦУП, бронированный передвижной комплекс.

НПУ оснащен системой звуковых сигналов для оператора и внешнего пилота с целью информирования о приближении или наступлении различных критических режимов полета и неисправностей.

Оператор и внешний пилот находят на постоянной голосовой связи с целью информирования пилота о состоянии БПВС по данным с телеметрии и контроля полетного задания

Режим управления БПВС

Ручной режим

Режим управления без включения в контур автомата стабилизации. Используется как резервный режим, в силу особенностей дистанционного управления БПВС. Возможны аэродинамически неустойчивые компоновки БПВС, где данный режим управления отсутствует либо может называться «аварийным».

Полуавтоматический режим

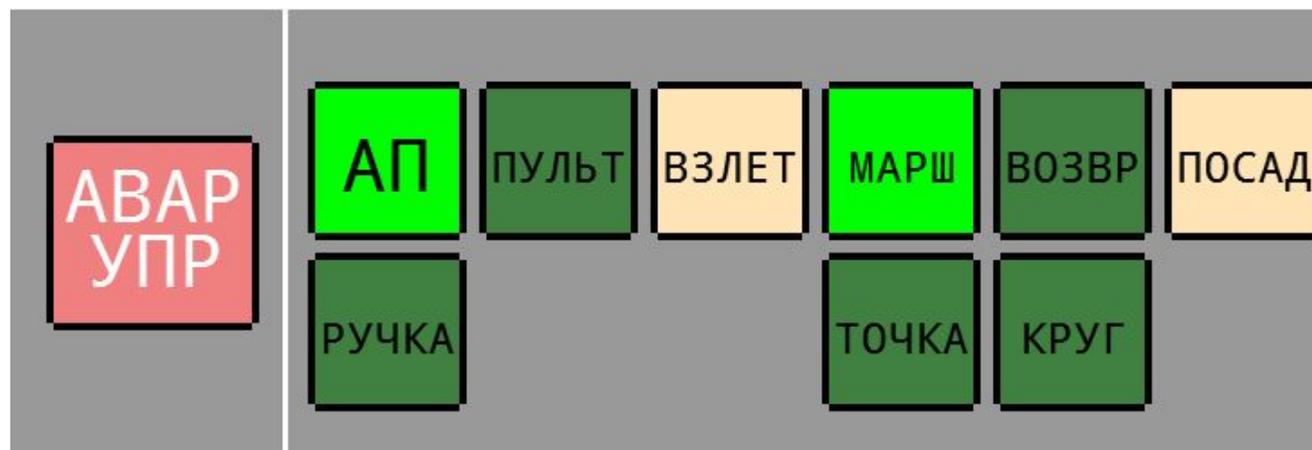
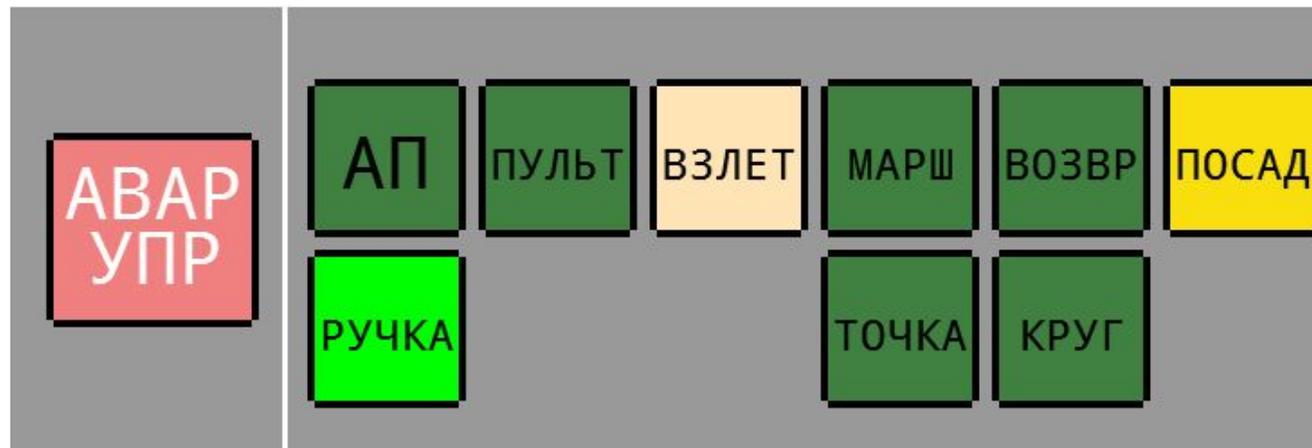
Режим с автоматом стабилизации и устойчивости БПВС в контуре управления. Реализуется суммированием сигнала от ручки оператора или пилота с сигналом от автомата стабилизации. При этом управление становится более плавным и предсказуемым. Автомат стабилизации демпфирует БПВС по угловым скоростям и перегрузкам, ограничивает угловое положение, предупреждает и выводит из сваливания.

Автоматический режим

БПВС полностью контролируется системой управления, выполняющей полет по командам от блока навигации или выдерживает высоту, скорость, курс, вертикальную скорость, разворот с постоянным радиусом по команде от оператора.

В данном режиме возможно выполнение всего полета начиная от взлета до посадки на ВПП.

Режим управления БПВС



Режимы работы автопилота

Взлет

- Максимальная тяга двигателем
- Точное выдерживание курса ВПП.
- Управление курсом плавно переходит от шасси/лыж к килю и далее к элеронам.
- Стабилизация нулевого крена элеронами и необходимого угла атаки рулем высоты без потери скорости.
- Управление закрылками.

Полет по маршруту

- Выдерживание заданной высоты или вертикальной скорости, приборной скорости в допустимом диапазоне
- Управление по курсу осуществляется через канал элеронов для самолетных компоновок БПВС.
- Ограничение углов тангажа и крена.

Посадка

- Более точное выдерживание воздушной и путевой скорости
- Стабилизация нулевого крена
- Компенсация угла сноса килем.
- Управление вертикальной скоростью, желательно через радио или оптический высотомер.

Режимы работы автопилота

Параметры режима ВЗЛЕТ

Широта	<input type="text" value="С 00°00'00"/>	<input type="button" value="Изменить"/>
Долгота	<input type="text" value="В000°00'00"/>	<input type="button" value="Задать"/>
Курс	<input type="text" value="Ψ 000 °"/>	<input type="button" value="Закреть"/>
Высота	<input type="text" value="0000 м"/>	

Параметры режима ПОСАДКА

Широта	<input type="text" value="С 00°00'00"/>	<input type="button" value="Изменить"/>
Долгота	<input type="text" value="В000°00'00"/>	<input type="button" value="Задать"/>
Курс	<input type="text" value="Ψ 000 °"/>	<input type="button" value="Закреть"/>

Режимы навигационного модуля

Навигационный модуль рассчитывает летные параметры выдерживаемые автопилотом для оптимального выполнения полетного задания. Само полетное задание состоит из набора различных точек с условиями их прохода. Из этих данных вычисляются заданный курс, высота, скорость и т.д.. Полученный данные отправляются в автопилот.

С НПУ оператор может переключать Навигационный модуль в следующие режимы:

- Взлет и посадка.

Указываются координаты начала полосы, длинна и курс. Возможны настройки углов захода по глиссаде.

- Полет на точку

Указываются координаты точки и способ пролета. После выполнения БПВС выполняет полет по коробке в режиме ожидания или возвращается на базу.

- Возврат домой

Принудительное возвращение в заранее указанную точку.

- Полет по маршруту

Управление БПВС согласно маршруту, в виде набора ППМ.

- Режим ожидания

Полет по кругу/коробке с заданными размером, высотой, скоростью и направлением вращения.

Режимы навигационного модуля

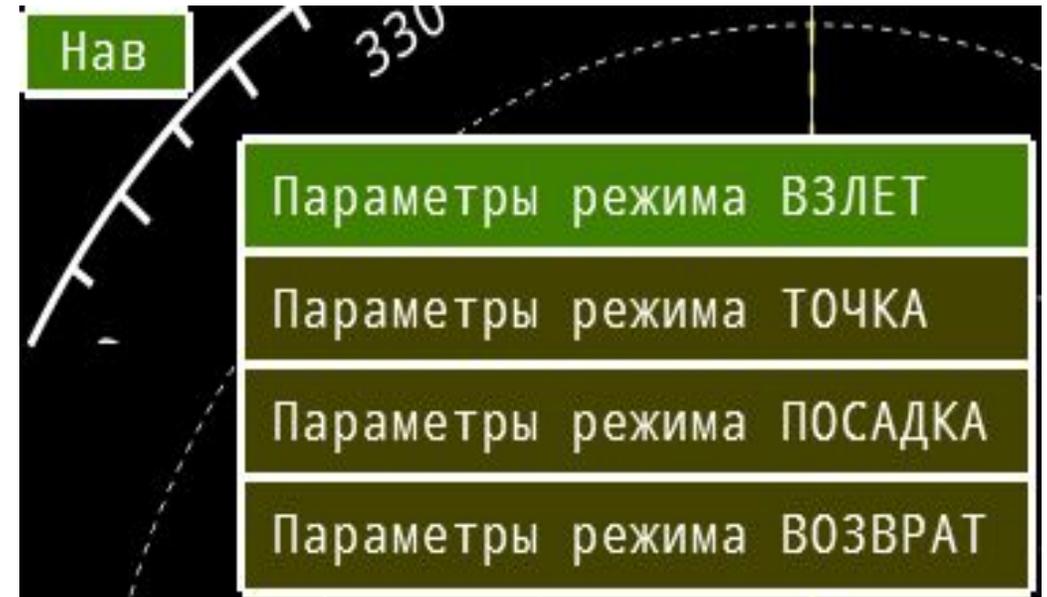
Параметры режима ВОЗВРАТ

Широта	<input type="text" value="С 55°34'00"/>	<input type="button" value="Изменить"/>
Долгота	<input type="text" value="В000°00'00"/>	<input type="button" value="Задать"/>
	<input type="text" value="Тек. к-ты"/>	<input type="button" value="Закреть"/>
Курс	<input type="text" value="ψ 000 °"/>	

Параметры режима ТОЧКА

Широта	<input type="text" value="С 00°00'00"/>	<input type="button" value="Изменить"/>
Долгота	<input type="text" value="В000°00'00"/>	<input type="button" value="Задать"/>
	<input type="text" value="Тек. к-ты"/>	<input type="button" value="Закреть"/>
Курс	<input type="text" value="ψ 000 °"/>	

ВЫБОР МАРШРУТА (1-4 из 4)	
1	Маршрут1
2	Маршрут2
3	Маршрут3
4	Маршрут4
5	-----
6	-----
7	-----
8	-----
9	-----
10	-----
^	v ЗАГРУЗ УТВ ИЗМ СОХРАН ОЧИСТ



Настройка коэффициентов автомата стабилизации

Руль высоты

Vs %
Kwy %
Kwz %
Kny %

ВКЛ

Руль направления

tim %
Kwy %
Kwx %
Knz %

ВКЛ

Элероны

Roll %
Kwx %

ВКЛ

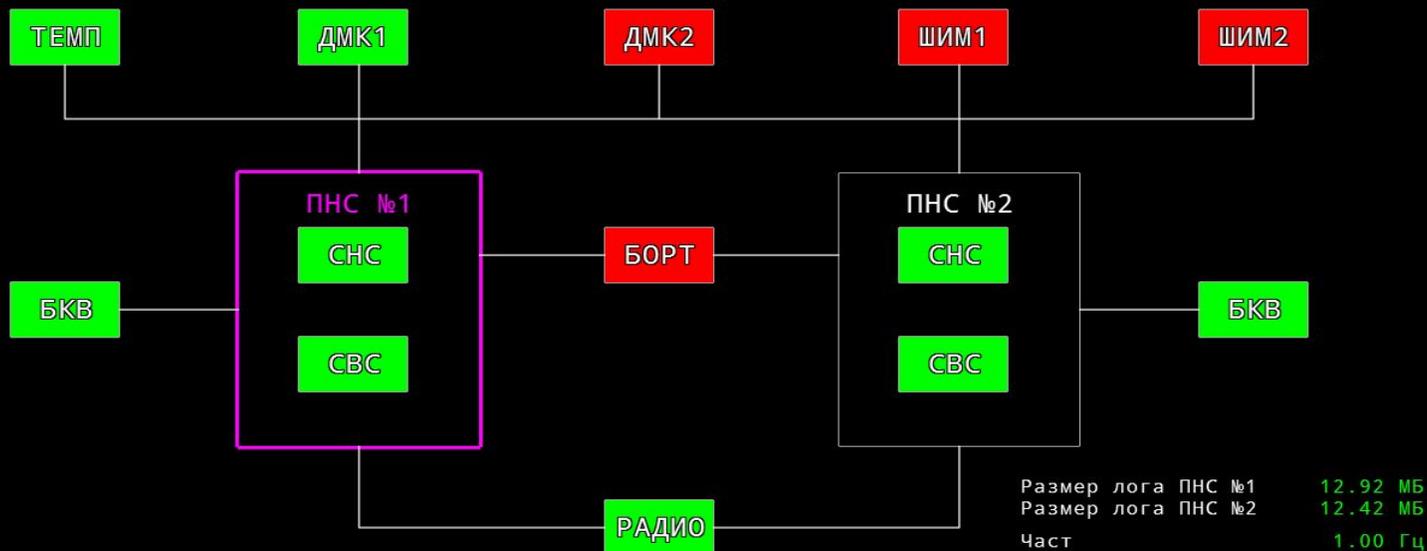
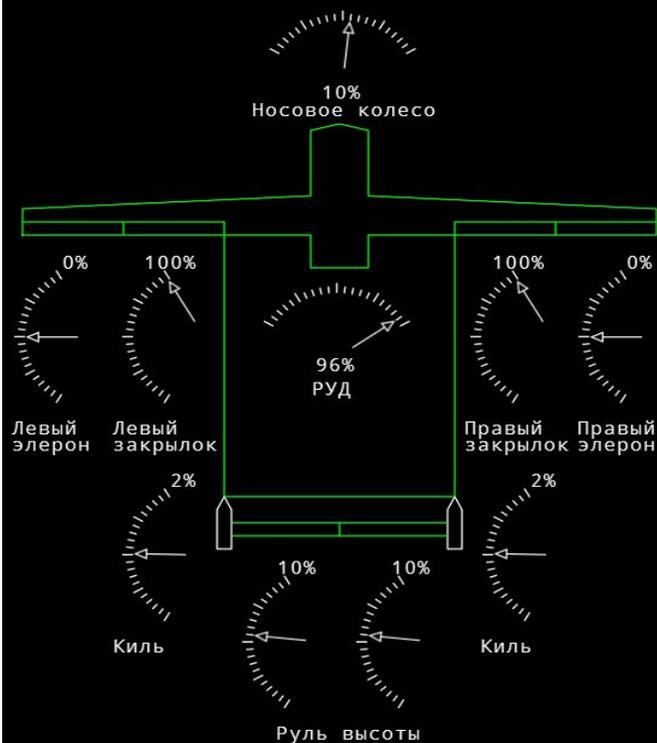
РУД

Knx %

ВКЛ

Отправить

Телеметрия



СНС	
lat	C 55°30'54"
lon	B 038°13'19"
W	141.92 км/ч
Ψпут	5.01 °
H	299.77 м
Част	3.80 Гц

БКВ	
Пу	1.04 g
Крен	-0.37 °
Тангаж	-1.03 °
Част	8.80 Гц

ДМК	
Ψмагн	359.92 °
Част	1.00 Гц

СВС	
V_приб	150.73 км/ч
V_ист	153.27 км/ч
H_баро	298.86 м
H_qfe	299.01 м
H_qnh	297.42 м
Vy	-0.19 м/с
P	728.93 м
Част	4.40 Гц

РВ	
H	Н/Д
Vy	Н/Д
Время	Н/Д
Част	Н/Д

Сервомашинки	
Правый элерон	0
Руль высоты	3276
РУД	30082
Киль	655
Левый элерон	0
Левый закрылок	32767
Правый закрылок	32767
Носовое колесо	3276
Част	4.60 Гц

Подтверждение приема сообщений бортом

Важным элементом системы мониторинга и предупреждения отказов является постоянное подтверждение разовых команда от НПУ дистанционной системой управления на борту.

В целях экономии трафика на канале «земля-борт» сообщения содержащие команды на переключение режимов управления БПВС, работы СДУ, заданные параметры полета с пульта НПУ, зажигания и остановки двигателя, изменение/задание маршрута, изменение коэффициентов ПИД-контроллеров, команды для полезной нагрузки отправляются ограниченное количество раз до прихода ответного сообщения от борта по каналу связи «борт-земля». Разовая посылка управляющего пакета неэффективна в силу большой вероятности потери связи на коротки промежуток времени!

Нажатие оператором НПУ кнопки включения режима или изменение параметров работы СДУ запускает периодическую отправку соответствующего пакета данных, частота 2Гц. СДУ получая сообщение с НПУ исполняет команду согласно алгоритму и отправляет свое новое состояние обратно на НПУ.

Все время пока выполняется описанный выше алгоритм НПУ находится в режиме ожидания подтверждения, что отображается, например, в виде моргания соответствующего элемента индикации.

Поскольку сообщение с подтверждением состояния СДУ также может не дойти до НПУ, СДУ постоянно посылает информацию о своем состоянии дополняя таким образом телеметрию борта.

Сообщение о неисправности от датчиков БПВС

Датчик либо другое устройство на борту БПВС может иметь программное обеспечение автоматической диагностики своего состояния. В случае какой-либо неисправности устройство по запросу информирует центральный вычислитель по бортовой линии связи об изменении своего состояния. В свою очередь СДУ принимает решение по заранее определённым алгоритмам и информирует об этом оператора НПУ. Оператор видит сообщение об отказе бортового устройства на экране НПУ, причем сообщение об отказе должно активно привлекать внимание оператора. Следует использовать визуальные и звуковые способы информирования такие как:

- Появление окна с сообщением об отказе на основном пилотажном экране;
- Моргающие подсвечивание экрана с данными телеметрии БПВС;
- Звуковой сигнал заданной частоты. Возможно использование разных сигналов.

Виды отказов:

- Перегрев;
- Превышение допустимых значений напряжения и силы тока;
- Помехи на линии связи и потери пакетов данных;
- Особые виды отказов;

Потеря связи и помехи на линии

Основной критерий отказа бортовой системы БПВС является остановка приема данных от системы или возникновение сильных помех на линии связи с системой.

Решение о потере связи с устройством может приниматься вычислителем БПВС и НПУ.

В состав ПО комплекса входит программа-коллектор данных датчиков БПВС. Задачами коллектора являются постоянный опрос устройств, сравнение данных основных и резервных датчиков, контроль частоты обновления данных.

При прекращении обновления данных с какого-либо устройства коллектор информирует СДУ о потере связи. Также коллектор может оценивать погрешность измерения параметров полета анализируя значения, полученные на некотором промежутке времени. При значительном росте среднеквадратичного отклонения коллектор также информирует СДУ и далее оператора на НПУ.

Среднеквадратичное отклонение измеряется как:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=t-n}^t \left(x_i - \frac{1}{n} \sum_n x_i \right)^2}$$

Методы определения отказов

Методы определения отказов

Визуальный

Автоматические методы

Статический
критерий
отказа

Нечеткая
логика

Нейронные
сети

Фильтр
Калмана

Виды ошибок принятия решений

Ошибка первого рода:

- Ошибкой первого рода называется ложное срабатывание системы мониторинга критических ситуаций, когда оператор получает сигнал информирующий об отказе системы, при корректной работе данной системы.
- Ошибка второго рода – система контроля не срабатывает при возникновении отказа.

Из-за возможности ложных срабатываний не удаётся полностью автоматизировать борьбу со многими видами угроз. Как правило, вероятность ложного срабатывания коррелирует с вероятностью пропуска события (ошибки второго рода). То есть: чем более чувствительна система, тем больше опасных событий она детектирует и, следовательно, предотвращает. Но при повышении чувствительности неизбежно вырастает и вероятность ложных срабатываний. Поэтому чересчур чувствительно настроенная система защиты может выродиться в свою противоположность и привести к тому, что побочный вред от неё будет превышать пользу.

Визуальное определение отказов БПВС на НПУ

Оператор регулярно производит осмотр данных телеметрии, контролируя работу систем БВС, и, в случаях выхода какого-либо параметра за допустимы диапазон значений, принимает соответствующее решение о продолжении, прекращении полета или корректировки полетного задания.

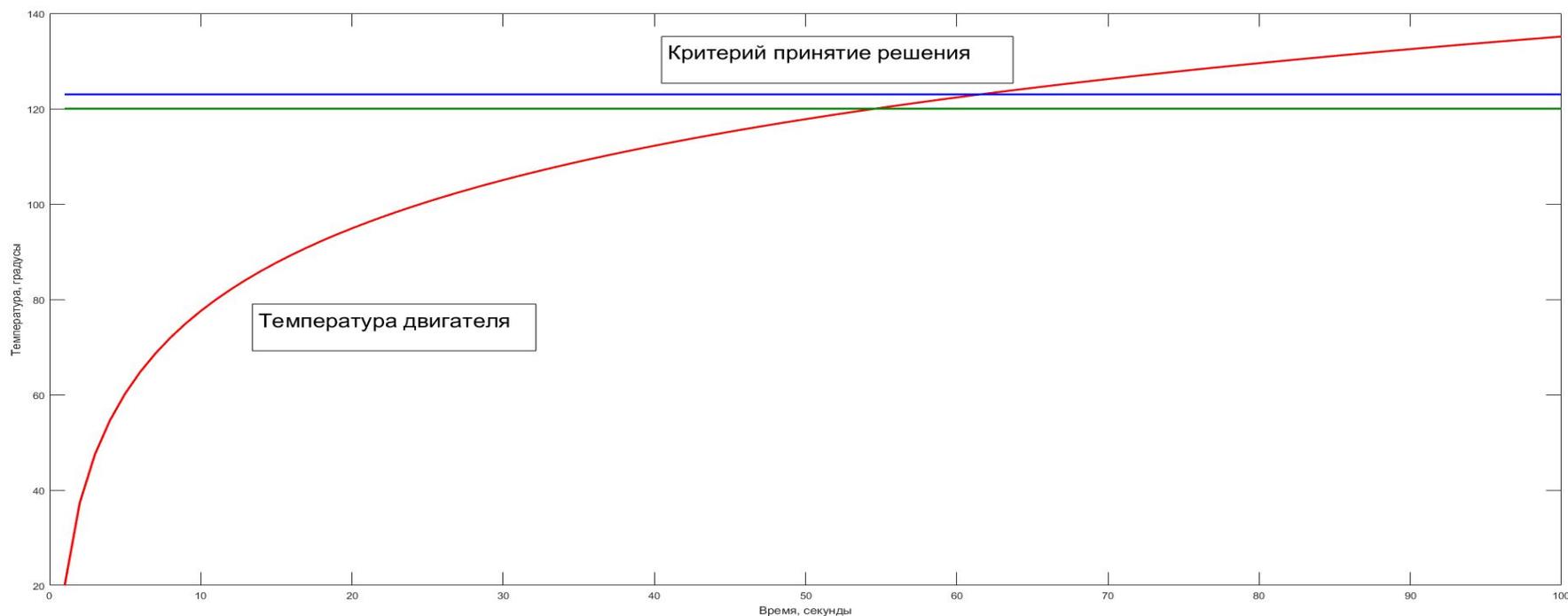
Контролируемые параметры:

- Температура охлаждающей жидкости двигателя;
- Обороты двигателя и винта;
- Температура выхлопных газов;
- Температура поршней двигателя;
- Давление и температура масла;
- Давление и температура топлива;
- Уровень вибраций;
- Напряжение бортовой сети;
- Потребление тока системами БПВС;
- Положение сервоприводов;
- Комплексный анализ показания датчиков;

Статический критерий отказов

Система контроля состояния БПВС производит постоянный мониторинг показаний датчиков и принимает решения предупреждения отказа и информирования оператора НПУ.

Критерием принятия решения является равенство контролируемого параметра некоторому заранее определенному значению. Поскольку данные от датчиков состояния БПВС, передаваемые по линиям связи, содержит случайную составляющую с известной среднеквадратичной ошибкой, то решение принимается на основе либо осредненного по времени сигнала, либо устанавливается временная задержка фиксированной продолжительности, в течении которой значение параметра еще может вернуться в допустимы



Нечеткая логика

Нечёткая логика — раздел математики, являющийся обобщением классической логики и теории множеств, базирующийся на понятии нечёткого множества, с функцией принадлежности элемента к множеству, принимающей любые значения в интервале от 0 до 1, а не только 0 либо 1. На основе этого понятия вводятся различные логические операции над нечёткими множествами.

Нечеткий логический вывод дает возможность получить заключение в виде нечеткого множества, соответствующего текущим значениям входов, с использованием нечеткой базы знаний и нечетких операций. Алгоритм принятия решения основывается на понятии нечеткой степени истинности. Данный подход очень хорошо применим в отраслях, где преобладают качественные зависимости.

Содержание	Пусть A и B - нечеткие множества на универсальном множестве E . Говорят, что A содержится в B , если $\forall x \in E \quad A\mu(x) \leq B\mu(x)$. Обозначение: $A \subset B$.
Равенство	A и B равны, $\forall x \in E \quad A\mu(x) = B\mu(x)$. Обозначение: $A = B$.
Дополнение.	Пусть $M = [0, 1]$, A и B - нечеткие множества, заданные на E . A и B дополняют друг друга, $\forall x \in E \quad A\mu(x) = 1 - B\mu(x)$. Обозначение: \bar{A} .
Пересечение	$A \cap B$ - наибольшее нечеткое подмножество, которое содержится одновременно в A и B . Функция принадлежности: $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$.
Объединение	$A \cup B$ - наименьшее нечеткое подмножество, которое включает как A , так и B , с функцией принадлежности: $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$.
Разность	$A - B = A \cap \bar{B}$ с функцией принадлежности: $\mu_{A - B}(x) = \mu_{A \cap \bar{B}}(x) = \min(\mu_A(x), 1 - \mu_B(x))$
Дизъюнктивная сумма	$A \bullet B = (A - B) \cup (B - A) = (A \cap \bar{B}) \cup (\bar{A} \cap B)$ с функцией принадлежности: $\mu_{A \bullet B}(x) = \max(\min(\mu_A(x), 1 - \mu_B(x)), \min(\mu_B(x), 1 - \mu_A(x)))$

- Возможность оперировать нечеткими входными данными: например, непрерывно изменяющиеся во времени значения (динамические задачи), значения, которые невозможно задать однозначно;
- Формализация критериев оценки и сравнения: оперирование критериями "большинство", "возможно", преимущественно" и т.д.;
- Проведение качественных оценок как входных данных, так и выходных результатов;
- Быстрое моделирование сложных динамических систем и их сравнительный анализ с заданной степенью точности.

Следует учитывать, что нечеткие системы, кроме видимых достоинств имеют и недостатки. К ним можно отнести следующее:

- отсутствие стандартной методики конструирования нечетких систем;
- невозможность математического анализа нечетких систем существующими методами;
- применение нечеткого подхода по сравнению с вероятностным не приводит к повышению точности вычислений.

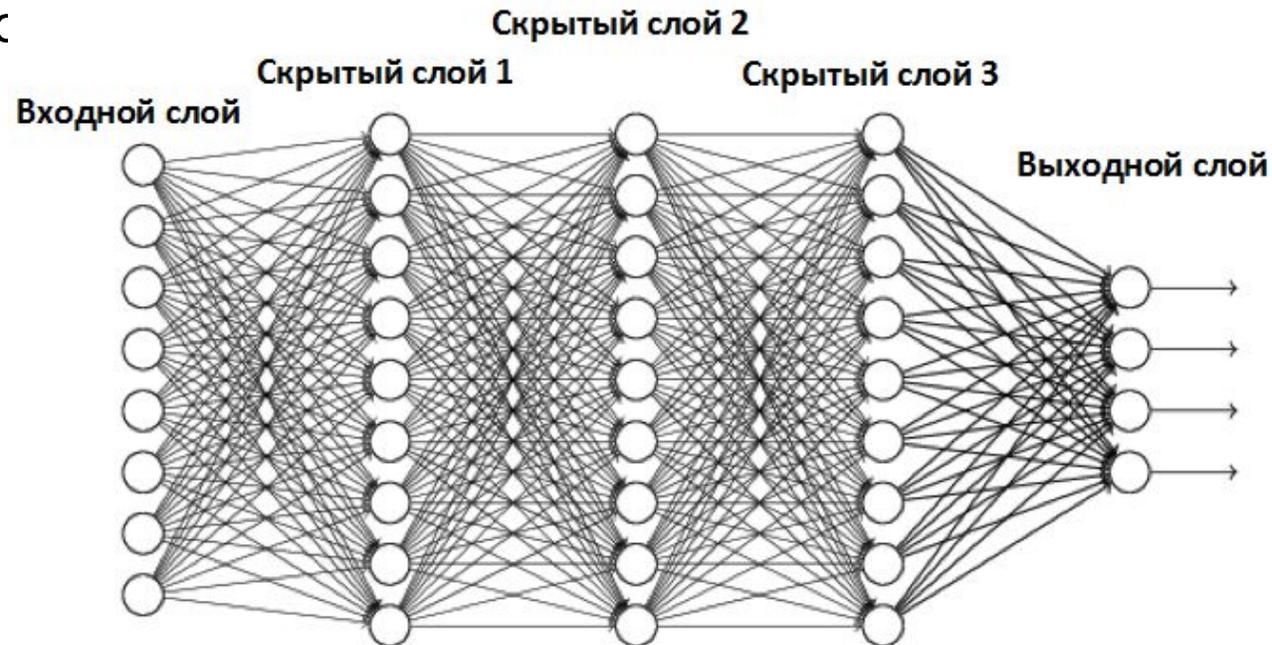
Тем не менее нечеткий подход является перспективным в области создания программного обеспечения для проектирования экспертных систем, благодаря своей направленности на качественное описание проблемы, а соответственно более действенное ее решение.

Нейронные сети

Нейронные сети как и нечеткая логика являются новым направлением построения экспертных систем быстрого анализ поступающих данных. Подобные системы призван заменить человека в задачах оценки и принятия решений в условиях недостаточной информационной обеспеченности либо слишком большого объема получаемых данных.

Нейронные сети – математическая модель связанной сети биологических нейронов, состоящая и меньшего количества элементов, специализируемая на конкретной задаче. Нейронная сеть состоит из связанных слоев нейронов, причем каждый нейрон в слое связан только с нейронами из соседних слоев.

Как показывают современные исследования большинство задач распознавания и оценки могут решаться нейронными с



Нейронные сети

Достоинства:

- Адаптивное обучение сети;
- Общие принципы построения не зависящие от области применения;
- Широкий спектр решаемых задач;
- Простой вид функции активации нейронов сети;
- Стабильная работа обеспечена большим количеством нейронов в сети;

Недостатки:

- Работа нейронной сети, особенно на стадии обучения, требует большие вычислительные мощности;
- Конкретная реализация сети подбирается исходя из опыта разработчика;
- В задачах на точное вычисление нейронные сети показывают средний результат;
- Для обучения необходим большой набор эталонных данных.

Фильтр Калмана

Фильтр Калмана – эффективный рекурсивный фильтр, оценивающий вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений, наиболее популярный фильтр в системах управления БПВС.

Алгоритм работает в два этапа. На этапе прогнозирования фильтр Калмана экстраполирует значения переменных состояния, а также их неопределенности. На втором этапе, по данным измерения (полученного с некоторой погрешностью), результат экстраполяции уточняется.



Использование фильтра Калмана

Фильтр позволяет решить следующие задачи:

- Рекурсивная фильтрация данных с минимальной фазовой задержкой;
- Количественная оценка погрешности измеряемых параметров;
- Поиск основного источника погрешностей на основании математической модели;
- Идентификация параметров модели;

Недостатки:

- Сложность вычисления;
- Большое количество параметров, настройка которых требует значительный опыт разработчика;
- Строго заданная модель движения системы или законы изменения модели;
- Чувствительность к выбросам в данных.

Устранение неисправностей

С целью устранения неисправности и их последствий выполняются следующие действия:

- Перевод комплекса на резервную систему управления;
- Переход на ручной/аварийный режим управления;
- Запуск специального режима управления в случае если такой имеется;
- Выключение неисправного датчика из контура управления;
- Перезагрузка отказавшего устройства;
- Изменение заданного маршрута;
- Возврат домой;
- Сброс полезной нагрузки;
- Слив топлива;
- Самоуничтожение;

Аварийный возврат БПВС домой

В случаях отказа элементов комплекс БПВС включая полезную нагрузку оператор или СДУ может принять решение об аварийном возвращении домой. Возврат осуществляется как в автоматическом режиме при потере связи с НПУ или спутником, так и в ручном режиме при выходе из строя СДУ без автомата стабилизации.

При использовании инерциальных систем, возврат в точку старта возможен только с большим разбросом из-за накопления погрешности. При возврате с расстояния более 4 км среднее отклонение от точки старта превышает 300 м. Существуют алгоритмы для аварийного возврата БПЛА при потере GPS по фотоплану, рассчитанному в реальном времени по данным бортовой видеокамеры.

Общая схема возможного аварийного возврата БПЛА при потере GPS следующая:

1) При полете по маршруту строится фотоплан в реальном времени

2) По набору различных признаков:

- Потеря GPS-ГЛОНАСС
- Не соответствие данных GPS-ГЛОНАСС и инерциальной системы позиционирования
- Не соответствие данных GPS-ГЛОНАСС и позиционирование по видео потоку и подложке БПЛА делает разворот, привязывается с помощью корреляции к построенному фотоплану и возвращается «по своему следу», поддерживая привязку к фотоплану по корреляции.

Результаты показывают, что такой возврат является принципиально возможным как при наличии двусторонней связи с бортом, так и в автономном режиме при наличии на борту достаточно мощного процессора.

Самоуничтожение

Процесс самоуничтожения БПВС выполняется как по команде оператора НПУ так и автономному решению СДУ при потере связи с НПУ с целью предотвращения нанесения повреждений гражданским объектам или захвата БПВС посторонними лица. Точный набор критериев запуска процесса самоуничтожения определяется исходя из полетного задания и конструкции БПВС.

Примеры:

- Выполнение полетного задания не предполагающего возврат на базу;
- Выход из строя критического количества устройств комплекса;
- Предотвращение перехвата контроля БПВС;
- Потеря связи продолжительное время;
- Иное изменение полетного задания;

Способы самоуничтожения БПВС:

- Управляемое падение в выбранную точку в автоматическом или ручном режиме;
- Неуправляемое падение;
- Постепенное отстреливание деталей комплекса;
- Открытие газовых клапанов;
- Запуск взрывного устройства для уничтожения как всего комплекса, так и отдельных устройств;