

Руководство пользователя
программного обеспечения
«TFM-БАС»

1 ВВЕДЕНИЕ

1.1. О программном обеспечении

1.1.1. Назначение и состав ПО «TFM-БАС»

Программное обеспечение (ПО, программа для ЭВМ, ПрЭВМ) «TFM-БАС» предназначено для выполнения полного спектра задач, связанных с эксплуатацией беспилотных авиационных систем (БАС) с воздушными судами типа VTOL-конвертопланов. В его задачи входят управление полетом, планирование и выполнение миссий, а также обеспечение безопасности полетов в общем воздушном пространстве.

ПО «TFM-БАС» (далее также – «TFM-БАС») включает в себя следующие программные части, функционирующие как единое целое, под условными названиями TFM-Logic, TFM-FMU, TFM-Pilot:

- TFM-Logic — программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для бортового управления и диагностики БВС (также – «модуль бортового управления»)
- TFM-FMU — программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для интеллектуального управления полётом БВС (также – «интеллектуальное ядро автопилота»)
- TFM-Pilot — программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для управления и визуализации состояния БВС (для наземной станции).

1.1.2. Функциональные характеристики ПО

- Управление динамикой полета с учетом условий среды и состояния беспилотного воздушного судна (БВС)
- Функция автопилота
- Управление бортовыми устройствами
- Управление каналами связи
- Управление энергетикой и термальное управление
- Алгоритмическое переключение резервированных систем
- Логирование данных
- Управление доступом
- Интеграция и оркестрация бортовых данных
- Интеграция с внешними цифровыми сервисами

ПО поставляется в формате исполняемых файлов, оптимизированных под целевую операционную систему (ОС) и аппаратную платформу заказчика (пользователя).

1.1.3. Область применения и соответствие стандартам

ПО «TFM-БАС» предназначено для использования в беспилотных авиационных системах (БАС) с воздушными судами типа VTOL-конвертопланов. Благодаря модульной архитектуре и гибкости интеграции, программное обеспечение может быть адаптировано для различных задач управления, мониторинга и поддержки эксплуатации БАС. Разработка ПО выполнена с учетом международных требований ICAO и предусматривает возможность сертификации, промышленной эксплуатации и интеграции БВС в общее воздушное пространство. Решения, реализованные в ПО, соответствуют современным стандартам безопасности, надежности и совместимости с внешними системами управления и мониторинга.

В частности, ПО «TFM-БАС» соответствует следующим международным и отраслевым стандартам: ADS-B/UAT (протоколы обмена данными о воздушной обстановке), а также ROS2, MAVLink, PX4 (совместимость с открытыми протоколами и платформами).

1.2. Системные требования

ПО «TFM-БАС» обладает возможностью компиляции под различные операционные системы и аппаратные архитектуры, что обеспечивает адаптацию к широкому спектру целевых вычислительных платформ. Архитектурная концепция предусматривает модульное и распределённое развертывание компонентов, благодаря чему отдельные программные части (программные модули) могут функционировать независимо на различных вычислительных устройствах в составе бортового и наземного сегментов системы управления.

Как правило, программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для управления и визуализации состояния БВС (TFM-Pilot) устанавливается и эксплуатируется на наземной станции управления (НСУ), тогда как программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для бортового управления и диагностики БВС (TFM-Logic) выполняется на бортовом вычислительном модуле летательного аппарата (Companion Computer), а программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для интеллектуального управления полётом БВС (TFM-FMU) интегрируется в полётный контроллер воздушного судна. Такой подход позволяет оптимизировать распределение вычислительных ресурсов между элементами системы, повышая надежность, отказоустойчивость и масштабируемость решения.

Далее приведены дифференцированные системные требования для каждой из программных частей ПО «TFM-БАС».

1.2.1. Программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для управления и визуализации состояния БВС (далее - TFM-Pilot)

- Операционная система: Linux (или аналогичная UNIX-подобная система, например, Ubuntu или Debian)

- Процессор: Intel i5 или эквивалентный
- Оперативная память (RAM): не менее 8 ГБ
- Накопитель: SSD объемом от 256 ГБ
- Графика: обязательное наличие графического адаптера

1.2.2. Программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для бортового управления и диагностики БВС (далее - TFM-Logic)

- Операционная система: Linux (Ubuntu/Debian)
- Процессор: 4-ядерный с тактовой частотой от 3.5 ГГц
- Оперативная память (RAM): от 16 ГБ DDR3 и выше
- Накопитель: SSD объемом от 100 ГБ
- Сеть: сетевая карта Gigabit Ethernet
- Порты: минимум 2 USB 3.0
- Интерфейс: RS-485 (встроенный или через адаптер)
- Программное обеспечение: предустановленный пакет ROS2 Iron (Apache License 2.0; <https://github.com/ros2/variants/blob/master/LICENSE>, ; <https://github.com/ros2/ros2>)

1.2.3. Программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для интеллектуального управления полётом БВС (далее - TFM-FMU)

- Аппаратная платформа: совместимость с архитектурой STM32H7 или стандартизированные платформы PX4
- Операционная система: поддержка UNIX-подобных систем (по необходимости)

1.3. Программные части ПО «TFM-БАС» и их назначение

1.3.1. Программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для управления и визуализации состояния БВС (далее - TFM-Pilot)

Ключевые возможности и особенности TFM-Pilot:

- Управление правами и доступом, в том числе механизм секретного доступа к инженерным меню, недоступным для пилотского состава.
- Расширенное управление энергосистемами, обеспечивающее мониторинг и визуализацию состояния нескольких аккумуляторных батарей для детального контроля и своевременной индикации критических параметров.
- Динамический предполетный аудит – автоматизация многоэтапного чек-листа с учетом специфик конструкции, метеоусловий, технического состояния и эксплуатационных ограничений.

- Интеграция с внешними цифровыми сервисами: поддержка подключения к внешним картографическим системам, модулю отображения воздушной обстановки (включая интеграцию ADS-B).
- Расширенная обработка пользовательских MAVLink-сообщений, обеспечивающая контроль и анализ критически важных параметров, таких как масса и центровка БВС.
- Полноценное многоканальное управление с возможностью параллельного контроля до 10 БВС одновременно, что расширяет сценарии эксплуатации в рамках распределенных миссий.
- Резервированная коммуникация для надежной передачи команд и телеметрии.
- Интеллектуальная загрузка и адаптация миссий с учетом внешних факторов и оперативных ограничений.
- Расширенный сбор и визуализация данных телеметрии для графического представления всех эксплуатационных параметров.
- Совместимость с многообразием внешних протоколов и систем, включая навигационные, сенсорные и управляющие модули.
- Автоматизированная оценка технического состояния и поддержка принятия решений для превентивного реагирования на угрозы.

TFM-Pilot обеспечивает в том числе широкий спектр экспертных, аналитических и защитных инструментов для промышленной эксплуатации БАС.

1.3.2. Программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для бортового управления и диагностики БВС (далее - TFM-Logic)

TFM-Logic – программная часть, реализующая функцию бортового управления, предназначенная для автономного выполнения полетных задач на борту БВС. TFM-Logic исполняется на бортовом вычислительном модуле (Companion Computer) БВС и функционирует с момента подачи питания до его выключения.

Ключевые возможности и особенности TFM-Logic:

- Диагностика состояния всех элементов системы в реальном времени, включая энергетику и термальное управление.
- Адаптивное управление каналами связи и обеспечение их бесперебойной работы, включая переключение на лучший канал связи в зависимости от его состояния.
- Запись телеметрии и состояния системы в лог для последующего анализа.
- Выступает в качестве связующего звена аппаратных ресурсов авионики БВС.

TFM-Logic взаимодействует с TFM-FMU (интеллектуальным ядром автопилота) и поддерживает полноценную двустороннюю интеграцию протоколов ROS2, MAVLink, а также стандарт DroneCAN.

1.3.3. Программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для интеллектуального управления полётом БВС (далее - TFM-FMU)

TFM-FMU – специализированная программная часть, формирующая интеллектуальное ядро автопилотной системы БВС, позволяющая реализовать продвинутую логику управления тяжелыми БВС типа VTOL-конвертопланов и интеграцию с широким спектром сенсорных и исполнительных систем.

Ключевые возможности и особенности TFM-FMU:

- Управление критически важными сенсорами и подсистемами, включая специализированные термометрические датчики для высокоточной оценки истинной воздушной скорости и систему термического менеджмента.
- Поддержка обширного набора устройств DroneCAN, включая сдвоенные дальномеры.
- Полноценная двусторонняя интеграция с приложениями на ROS2 и MAVLink как на уровне публикации, так и подписки на сообщения, создавая единое информационное пространство.
- Комплексный сбор и анализ данных со всех сенсоров, включая нестандартные и экспериментальные устройства.
- Адаптивное управление динамикой полёта с использованием алгоритмов адаптивного и предиктивного регулирования.
- Оптимизация траекторных решений на основе телеметрии, погодных данных и моделей препятствий.
- Интеграция с многоуровневыми навигационными системами (GPS/ГЛОНАСС и альтернативные технологии позиционирования) для повышения точности и отказоустойчивости.
- Автоматическая коррекция и стабилизация, обеспечивающая устойчивость и управляемость в сложных условиях эксплуатации.
- Функциональная и аппаратная отказоустойчивость с встроенными системами самодиагностики и автоматического перехода в безопасные режимы.
- Гибкая интеграция в распределённые системы управления через открытые интерфейсы.

TFM-FMU выступает центральным элементом обеспечения полной автономности, операционной устойчивости и интеллектуальной безопасности БВС.

1.4. Примеры сценариев использования ПО в различных фазах эксплуатации БАС

Использование ПО «TFM-БАС» охватывает три фазы эксплуатации БАС:

1. планирование миссии и предполётная подготовка
2. автоматизированный полёт с мониторингом и диагностикой бортовых систем
3. послеполётный анализ и обслуживание ПО.

Каждая фаза эксплуатации поддерживается функционалом различных комбинаций программных частей «TFM-БАС».

Фаза 1: Планирование миссии и предполётная подготовка

В этой фазе основное взаимодействие происходит через программную часть TFM-Pilot, которая позволяет оператору выполнить все необходимые действия перед полетом:

- Формирование полетного задания: пилот (пользователь) использует TFM-Pilot для создания логистической миссии по доставке груза.
- Динамический предполетный аудит: осуществляется автоматическая проверка чек-листа, учитывающая конструкцию БВС, текущие метеоусловия, техническое состояние и эксплуатационные ограничения.
- Управление доступом и безопасностью: Распределение прав доступа реализовано посредством системы авторизации, включая скрытый инженерный режим, недоступный пилотам.

Фаза 2: Автоматизированный полёт, мониторинг и диагностика бортовых систем

Во время выполнения миссии задействованы все три основные программные части ПО «TFM-БАС», что обеспечивает безопасность и эффективность полета:

- Визуализация телеметрии (TFM-Pilot): TFM-Pilot в реальном времени отображает полный спектр телеметрии и диагностики, а также интегрируется с внешними картографическими сервисами, отображая актуальные данные для оператора. Может также функционировать система обнаружения и предотвращения столкновений (DAA), которая визуализирует защищаемые и маневренные зоны, а также предполагаемые траектории обхода для обеспечения безопасности в общем воздушном пространстве.
- Диагностика (TFM-Logic): TFM-Logic в реальном времени осуществляет комплексную диагностику всех элементов системы, включая энергетiku и термальное управление. Он отслеживает работу нескольких каналов связи одновременно и переключаться между ними для бесперебойной работы. Также осуществляется мониторинг характеристик винтомоторной группы, включая обороты и температурный режим. TFM-Logic обеспечивает интеграцию и оркестрацию бортовых данных, поступающих от TFM-FMU и бортовых сенсоров, например, термометрических датчиков для оценки истинной воздушной скорости (TAS).

- Управление динамикой полета (TFM-FMU): TFM-FMU отвечает за конфигурирование параметров, определяющих динамику полета БВС, обеспечивая управление навигацией и исполнительными механизмами.

Фаза 3: Послеполётный анализ и обслуживание ПО

После завершения миссии данные с ее параметрами собираются и анализируются для оценки производительности и планирования будущих миссий. На этом этапе, при необходимости можно провести актуализацию ПО.

- Анализ полетных данных (TFM-Logic, TFM-Pilot): Инженер по бортовым системам анализирует записанную телеметрию и состояние системы из логов TFM-Logic для оценки производительности и эффективности миссии. Эти данные могут использоваться для настройки и оптимизации траекторных решений.
- Обновление и модернизация ПО (общий процесс для «TFM-БАС»): Предусмотрен процесс обновления ПО, который может осуществляться массово через автоматические обновления или единично по запросу пользователя через службу технической поддержки. Поддерживается модульная архитектура, позволяющая добавлять новые функции и расширения. Также ПО обладает возможностями удаленной поддержки и обслуживания, включая удаленное обновление ПО, диагностику и устранение неисправностей.

2 Использование ПО «TFM-БАС»: Фаза 1 – Планирование и предполётная подготовка

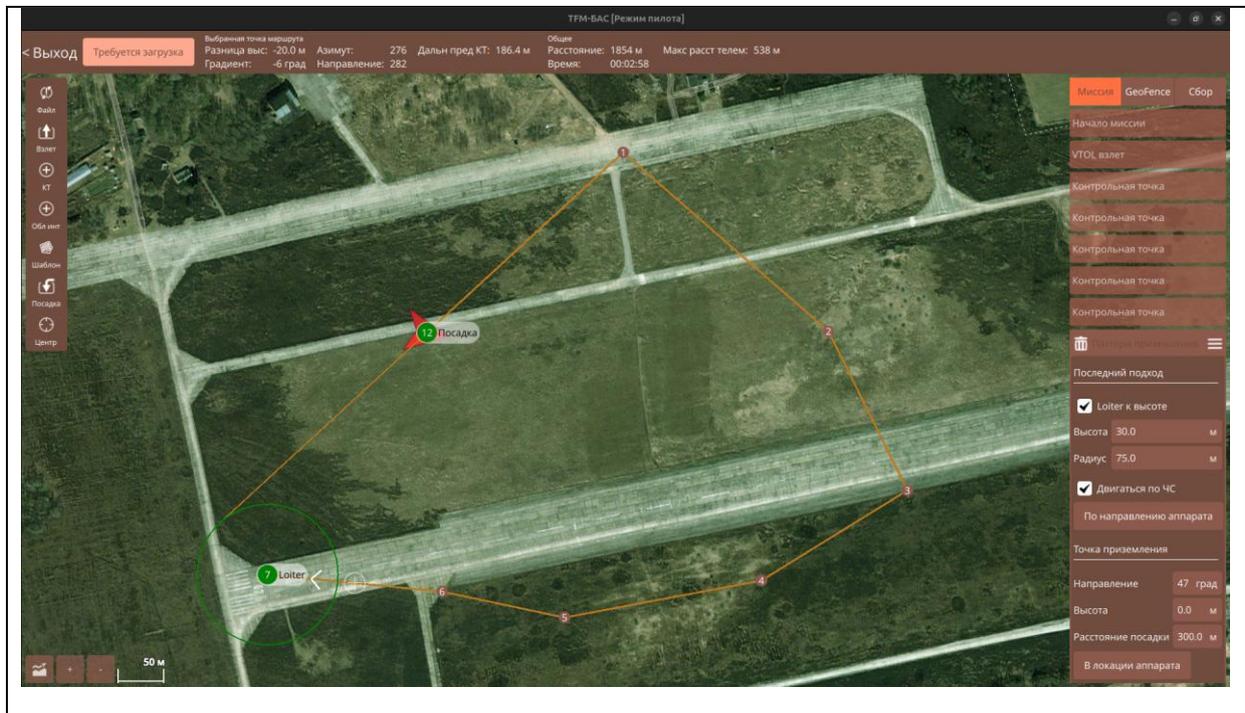
2.1. Формирование полётного задания

2.1.1. Создание логистической миссии

ВАЖНО: Формирование логистической миссии осуществляется исключительно пилотом, прошедшим специализированную подготовку и имеющим действующую лицензию, подтверждающую право на выполнение соответствующих операций с БВС. Обучение базовым навыкам пилотирования и планирования миссий проводится в аккредитованных организациях и выходит за рамки задач настоящего руководства пользователя.

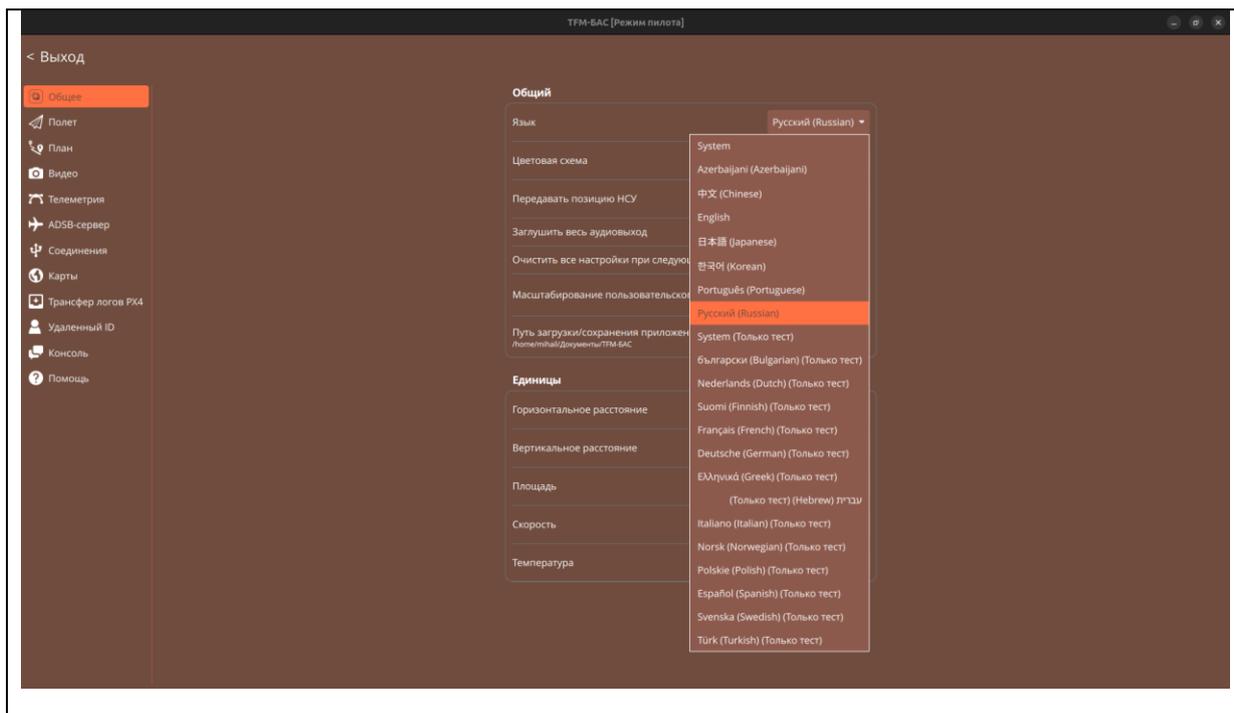
Для создания логистической миссии необходимо использовать вкладку “План полета” из главного меню программной части TFM-Pilot. Далее требуется построить маршрут с учетом требуемого полетного задания с помощью контрольных точек облета. Следует задать точку взлета и обозначить зоны безопасности для реализации механизмов предотвращения чрезвычайных ситуаций. После построения маршрута на нижней части экрана визуализируется актуальный рельеф местности для верификации траектории относительно поверхности земли. Система в автоматическом режиме проверяет соблюдение всех необходимых критериев безопасности маршрута и информирует

оператора в случае несоответствия одного или нескольких параметров установленным требованиям. После успешного построения маршрута необходимо загрузить полетное задание в автопилот посредством соответствующей кнопки на верхней панели экрана. В главном меню интерфейса полетного управления должен отобразиться корректный маршрут и зеленый индикатор состояния БВС.



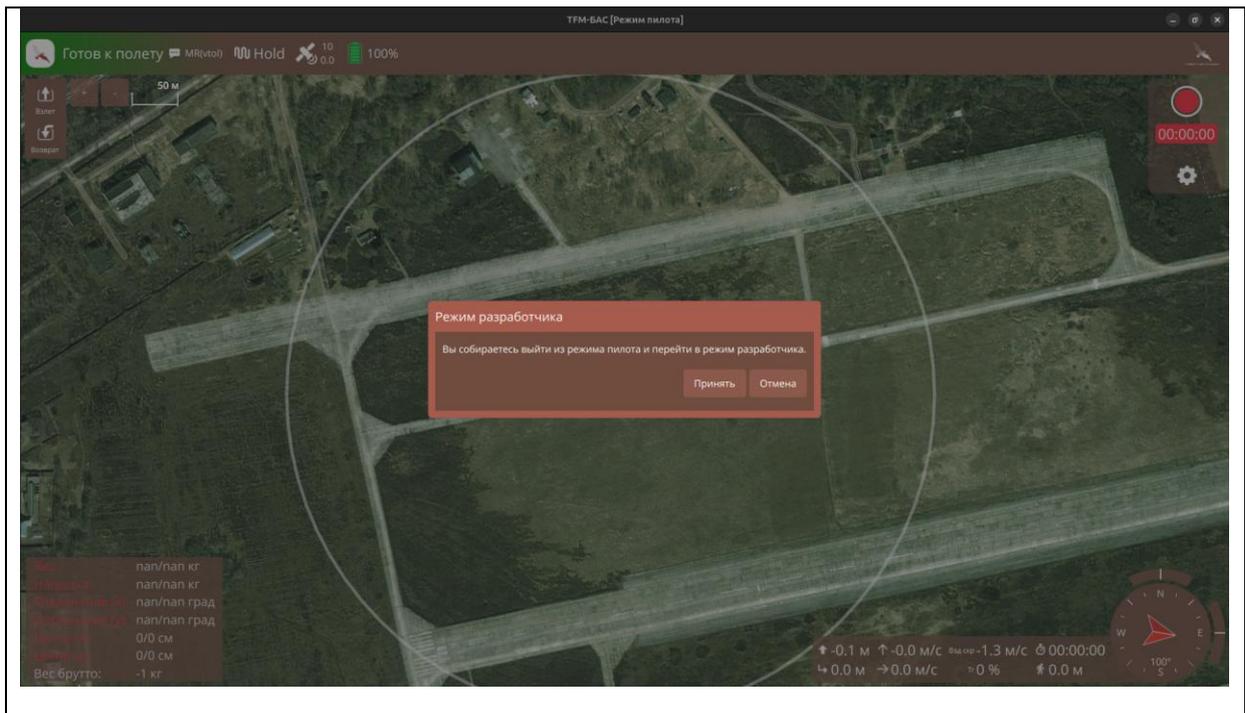
2.1.2. Пользовательский интерфейс и локализация (мультиязыковой интерфейс)

Интерфейс ПО поддерживает перевод на разные языки, включая Русский. Для этого необходимо перейти в главное меню настройки приложения и выбрать нужный язык. По умолчанию включен Русский.



2.2. Система управления правами и доступом: секретный доступ к инженерным меню

Для разграничения прав доступа к настройкам БВС на инженерный (режим разработчика) и пилотский предусмотрен механизм переключения интерфейсного меню через сочетания клавиш `ctrl + shift + p`. После чего в контекстном меню нужно подтвердить смену режима отображения и ввести пароль от текущей учетной записи `linux`. После успешного ввода пароля будут доступны все пункты настроечного меню, в том числе виртуальный джойстик, инструменты отладки и доступ к параметризации БВС. Для обратного перехода в режим пилота ввод пароля не требуется, только сочетание клавиш `ctrl + shift + p`.

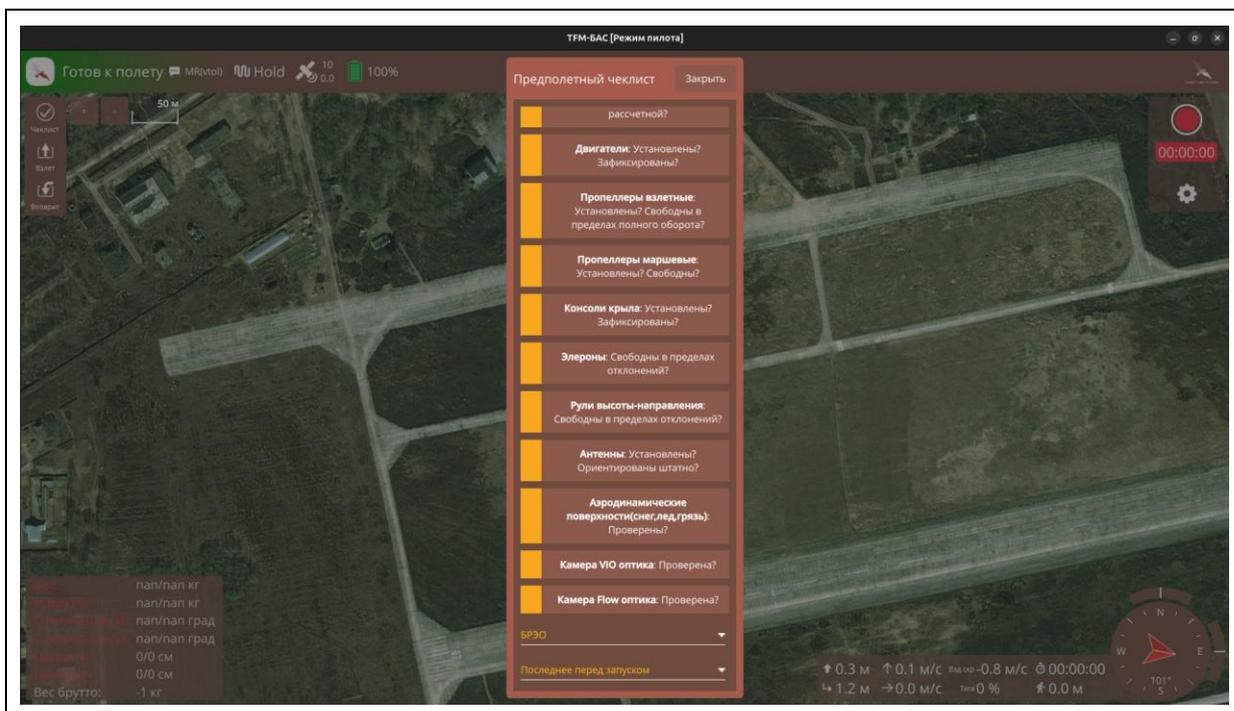


2.3 Система предполетного аудита

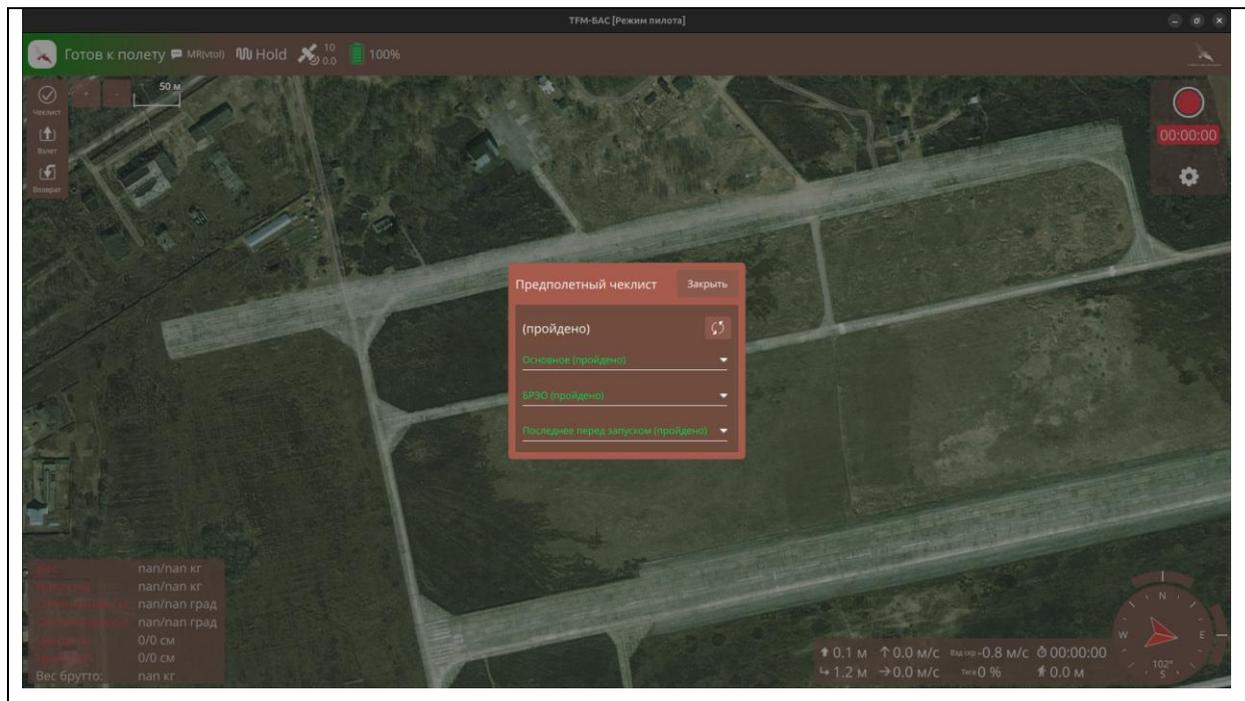
Для проведения предполетного аудита необходимо сначала запустить TFM-Pilot и установить соединение с беспилотным летательным аппаратом. После успешного подключения следует перейти к верхнему меню главного экрана, где отображаются основные параметры состояния системы, включая уровень заряда батарей, количество gprn спутников и общий статус готовности.



Далее нужно открыть раздел аудита через вертикальное меню на левой части экрана и приступить к работе с интерактивным чек-листом. В процессе проверки необходимо визуально оценить физическое состояние аппарата, после чего перейти к разделу датчиков для проверки их работоспособности. Здесь важно дождаться автоматической калибровки системы и внимательно проследить за показаниями всех сенсоров.



Только после успешного завершения всех проверок и подтверждения полной готовности системы можно приступить к выполнению полётного задания.



3. Использование ПО «TFM-БАС»: Фаза 2 – Автоматизированный полёт, мониторинг и диагностика бортовых систем

3.1. Управление динамикой полёта (TFM-FMU)

Система автоматического управления (САУ) БВС осуществляет непрерывный сбор, обработку и анализ данных о состоянии объекта и внешней среды в реальном времени для поддержания заданных параметров полёта. Это обеспечивает устойчивость траектории и безопасность эксплуатации БВС в различных метеоусловиях и сценариях применения.

В архитектуре САУ предусмотрено многоканальное сенсорное обеспечение: используются тензометрические и температурные датчики, инерциальные измерительные модули, лидарные системы, видеокамеры, а также GNSS-модули и другие системы позиционирования. Первичная и вторичная обработка поступающих данных осуществляется на борту вычислительным модулем, который синтезирует управляющие воздействия на основе алгоритмов многомерной фильтрации, прогнозирования и адаптивного управления.

Функция стабилизации реализована посредством каскада PID-регуляторов, компенсирующих внешние возмущения, поддерживающих высоту, курс и скорость полёта в заданных пределах. Модуль навигационной коррекции маршрута

обеспечивает автоматическое уклонение от препятствий, динамическое обновление траектории и оптимизацию полётного задания посредством анализа внешних данных и текущих параметров полёта.

Энергетический менеджмент построен на непрерывном мониторинге уровня заряда аккумуляторных батарей с автоматической адаптацией режима полёта и активацией процедуры аварийного снижения при достижении критических значений. Взлёт и посадка обслуживаются специализированными режимами автопилота, отвечающими за удержание заданных параметров, демпфирование динамических нагрузок и обеспечение требуемой точности по высоте и положению.

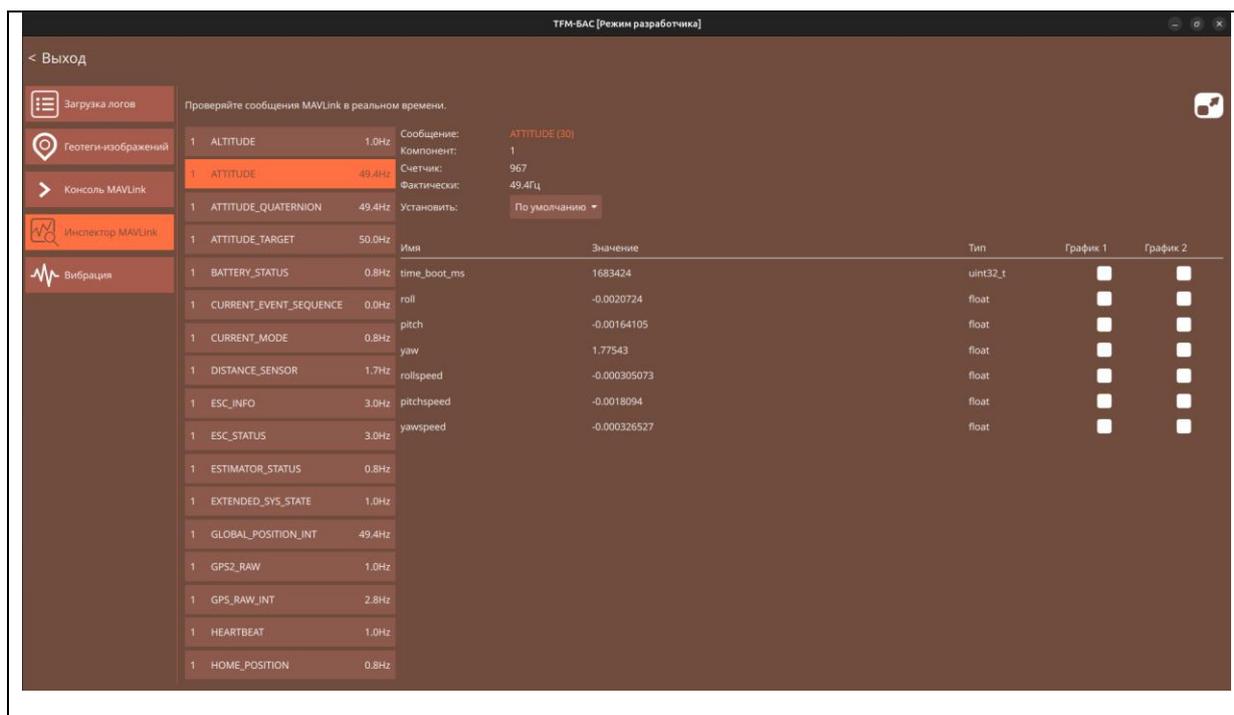
Алгоритмы управления реализуют плавные переходы между режимами, минимизируют энергопотребление и гарантируют выполнение предписанных манёвров в соответствии с внутренними критериями безопасности. Для фильтрации и интерпретации данных применяются адаптивные методы цифровой фильтрации, методы математической аппроксимации и прогнозирования состояния системы на основе полученных телеметрических данных.

Все вычисления и управляющие воздействия запрограммированы на уровне прошивки. Конечной точкой применения управляющих воздействий является изменение состояния исполнительных модулей системы. При этом пользователь программного обеспечения не обладает полномочиями на модификацию или вмешательство в алгоритмическую логику работы САУ — любые изменения допускаются исключительно на уровне разработчика с использованием защищённых средств конфигурирования.

3.2. Сбор и анализ данных с сенсоров

В ходе полёта TFM-Pilot осуществляет приём и отображение телеметрических данных, поступающих от всех подключённых сенсоров и подсистем летательного аппарата. Вся ключевая информация о состоянии БВС — параметры позиционирования, высота, скорость, уровень заряда аккумуляторов, состояния каналов управления, показатели датчиков температуры и давления, а также сообщения о неисправностях — доступна непосредственно в главном окне TFM-Pilot.

При возникновении критических ошибок система отображает предупреждающий баннер с описанием проблемы, а соответствующее событие автоматически заносится в лог событий. Для просмотра логов пользователь может перейти в раздел "Инструменты Анализа" → "MAVLink Инспектор" (доступен только в режиме разработчика) или воспользоваться внешним анализатором логов plotjuggler или через интернет-ресурс <https://logs.px4.io/>, которые позволяют фильтровать сообщения по типу, времени возникновения и степени критичности.

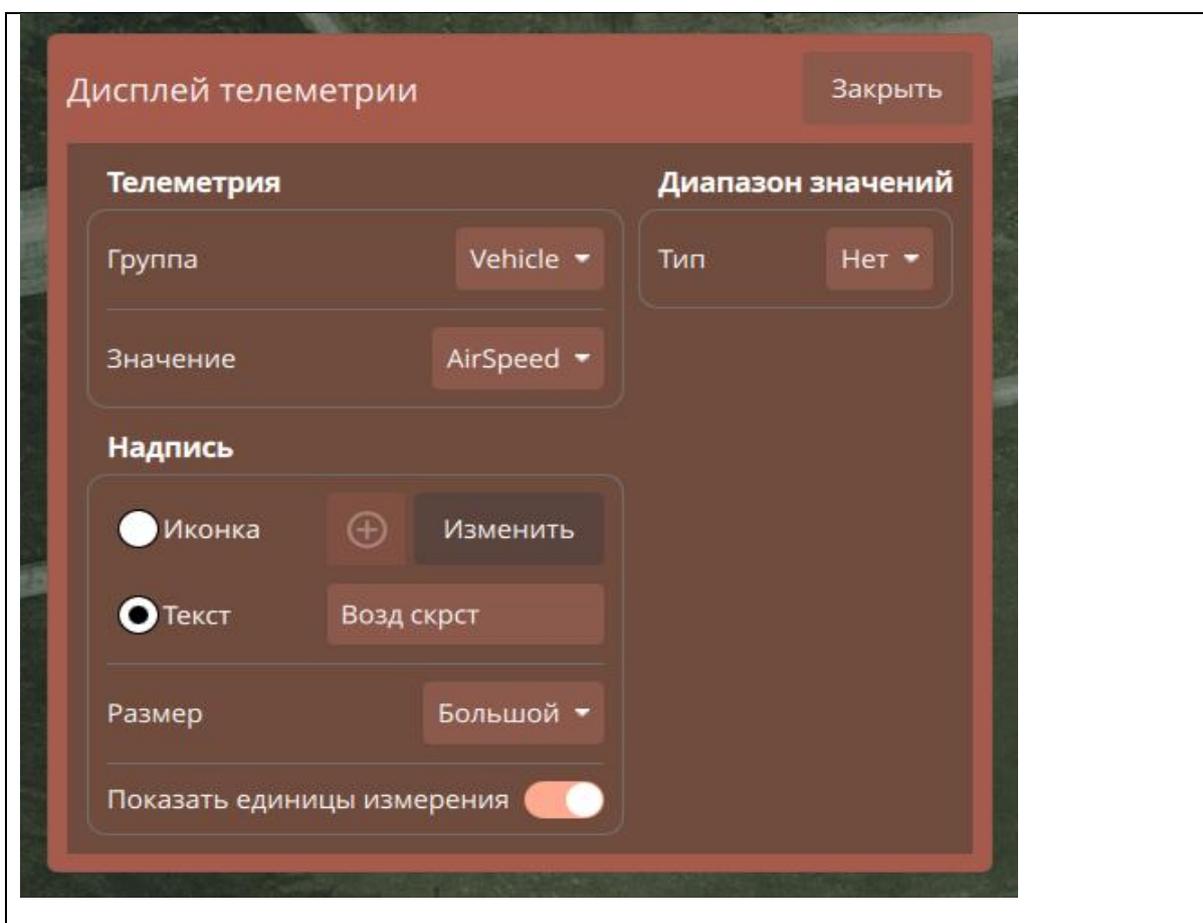
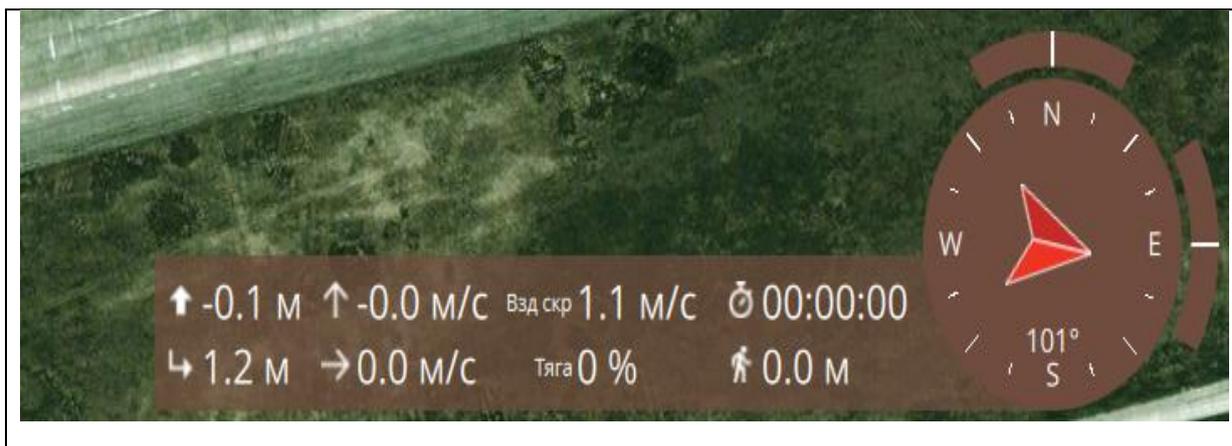


Дополнительно в TFM-Pilot интегрированы инструменты аналитики, такие как средство работы с логами (.tlog и .ulg), где пользователь может провести полный разбор полётных данных, просмотреть графики сенсоров, сравнить траектории, выявить отклонения в работе БВС и экспортировать отчёты для дальнейшего анализа. Все процедуры анализа доступны через меню "Инструменты анализа" и не требуют углублённых знаний — интерфейс рассчитан на оперативное получение информации обычным оператором.

В случае необходимости пользователь может инициировать автоматическую диагностику системы, а результаты проверки отобразятся как в виде отчёта, так и в виде всплывающих уведомлений, интегрированных в основное окно TFM-Pilot.

3.3. Визуализация телеметрии (TFM-Pilot)

На главном окне доступен функционал отображения телеметрических данных в виде авиагоризонта и наборного меню в нижней части экрана. Наборное меню позволяет составить необходимый пилоту перечень телеметрических данных для удобного контроля состояния и динамики полета БВС. Для изменения составляющих частей наборного меню следует нажать на него правой кнопкой мыши, что позволит редактировать каждую позицию таблицы. После необходимо нажать на интересующую позицию для изменения левой кнопкой мыши и настроить требуемые параметры для отображения.

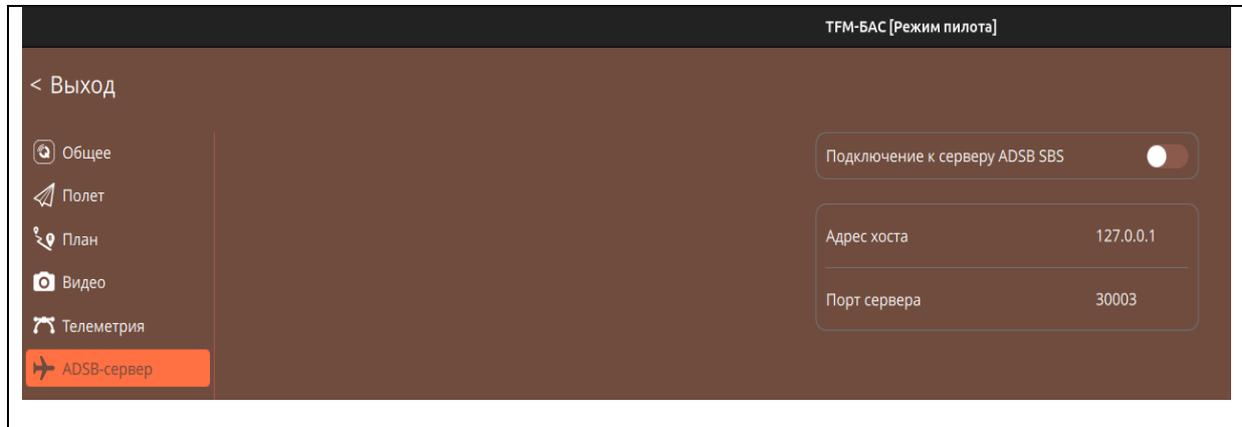


3.3.1. Интеграция с внешними сервисами (карты, ADS-B)

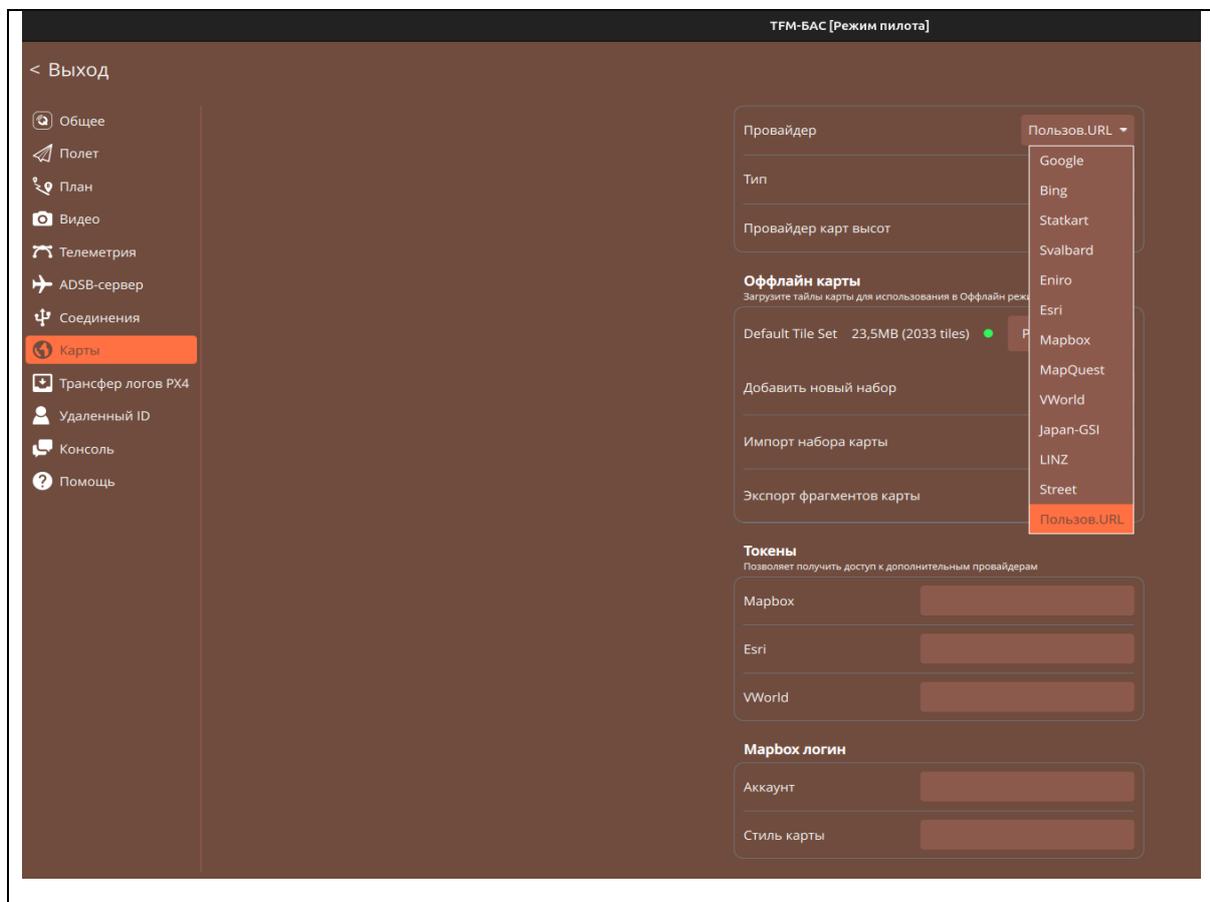
Интерфейс TFM-Pilot позволяет использовать сторонние источники картографической информации в том числе 3D карты и ADS-B сервисы для отображения других участников воздушного движения, оснащенных системами АЗН-В.

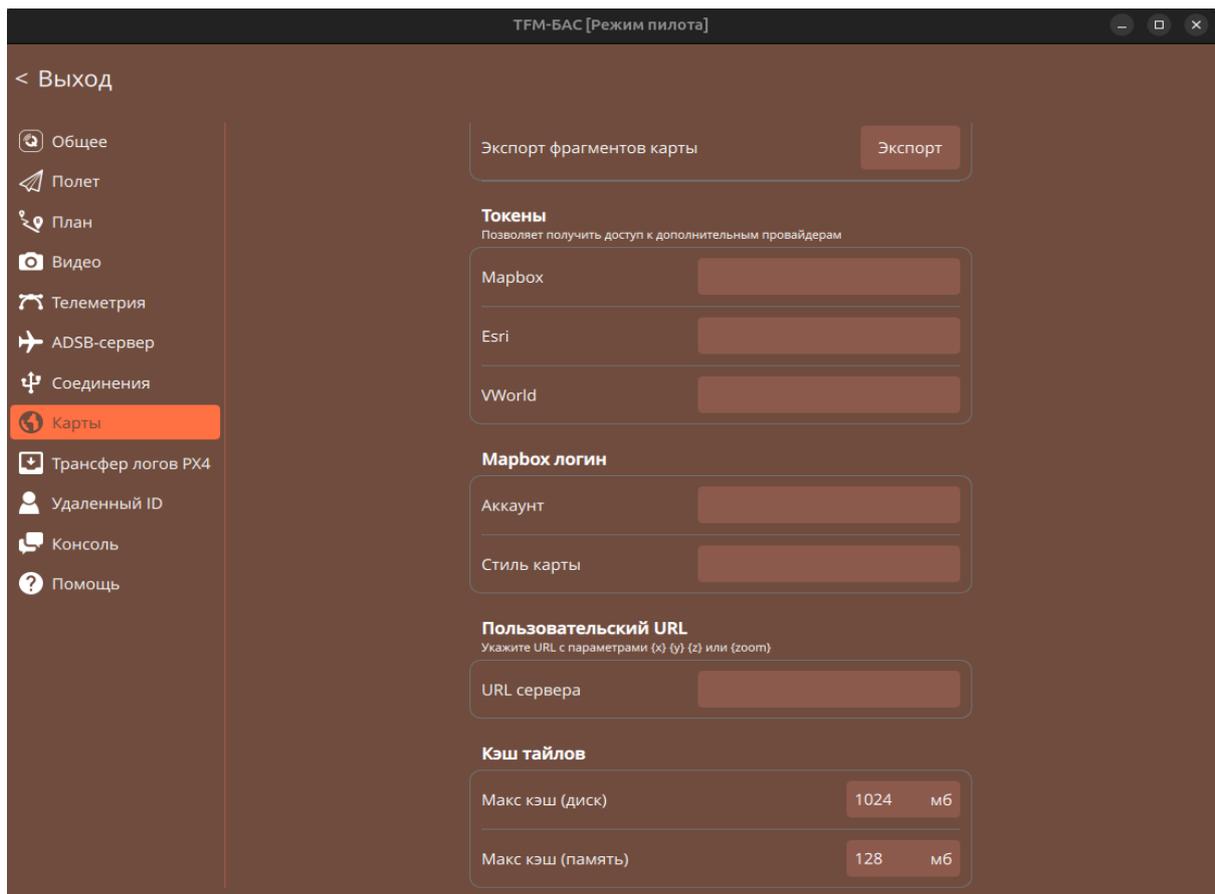
Для этого необходимо переключиться в инженерный режим и зайти в меню “Настройки приложения”.

Для подключения внешнего источника ADSB необходимо переключиться на вкладку “Сервер ADSB” в секции “Общее”, указать верные значения адреса хоста и порта сервера, предоставляющего данные ADS-B в SBS формате и нажать произвести подключение к серверу.



Для подключения стороннего источника картографических данных необходимо переключиться во вкладку “Карты”, в пункте “Провайдер карт” выбрать “Пользов. URL” и указать его в поле “URL Сервера” во вкладке “Пользовательский URL” в нижней части экрана.





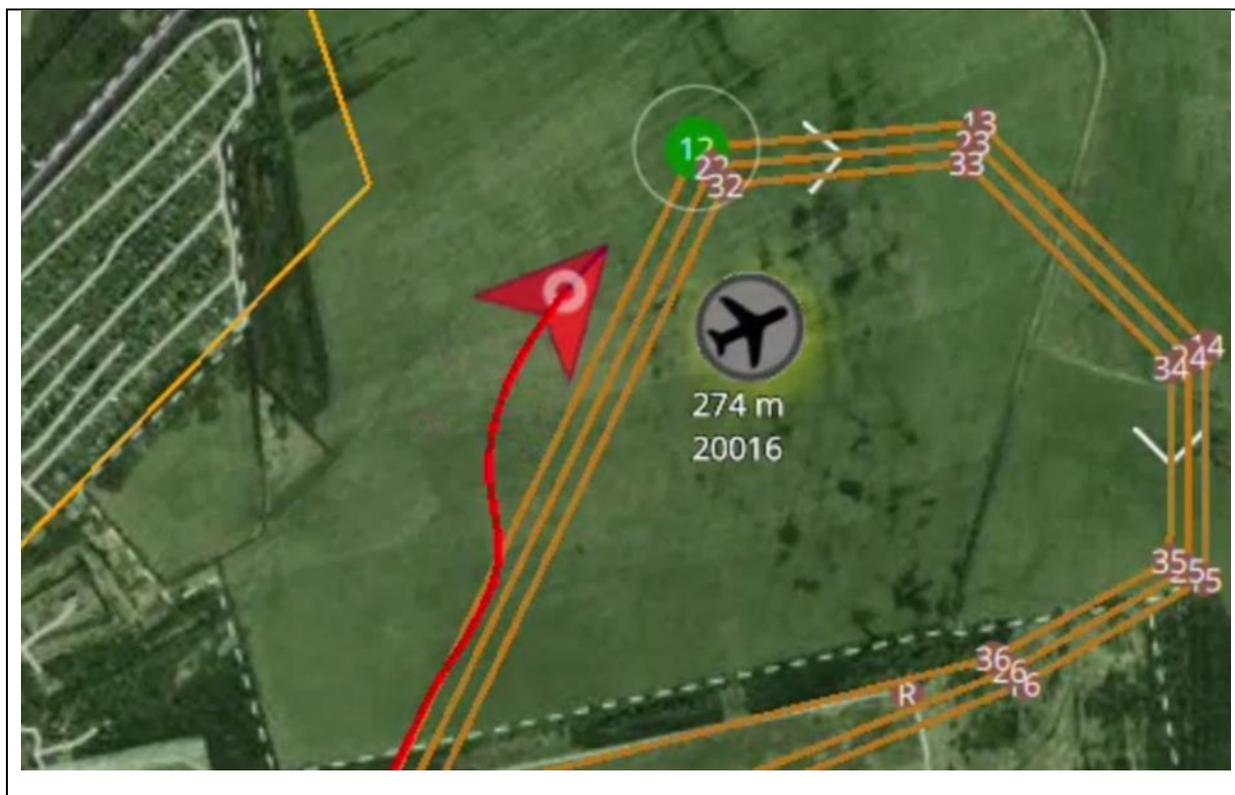
3.3.2. Интегрированная визуализация DAA (Detect and Avoid)

Система обнаружения и предотвращения столкновений (DAA) представляет собой интеллектуальную подсистему автономной навигации БВС, основные вычислительные и прогностические алгоритмы которой реализованы на программной части TFM-Logic, функционирующей на бортовом вычислительном модуле (Companion Computer) БВС. TFM-Logic обеспечивает вычисление, прогнозирование и реализацию избегающих маневров в реальном времени на основе многоканального поступления данных от телеметрии, транспондеров ADS-B/UAT и других сенсорных источников.

TFM-Pilot, в свою очередь, обеспечивает интерактивную визуализацию работы интегрированной на борту системы DAA для оператора на наземной станции управления (НСУ). Данный функционал включает отображение зон риска, защищаемых и маневренных зон, а также сгенерированных траекторий увода БВС. TFM-Pilot также предоставляет оператору возможность взаимодействия, например, отмены автоматического увода и возврата на маршрутное задание.

Функционал DAA работает на протяжении всего периода полета и не требует отдельного управления запуском и остановкой.





3.3.2.1. Назначение и алгоритмическая основа DAA

Функциональность DAA базируется на принципах модифицированного управления удаляющимся горизонтом (Receding Horizon Control, RHC) и модельного прогнозирующего управления (Model Predictive Control, MPC), что позволяет динамически решать оптимизационные задачи предотвращения столкновений.

Ключевые положения алгоритма:

- Система непрерывно отслеживает воздушную обстановку по каналам ADS-B/АЗНВ;
- Оценка уровня угрозы основана на прогнозе траекторий всех выявленных объектов с расчётом временных и пространственных параметров сближения;
- Реализовано адаптивное перепланирование avoid-маршрута на каждом такте управления (moving horizon), что гарантирует устойчивое избегание при минимизации отклонения от целевого сценария миссии;
- Учёт физических ограничений платформы и ограничений воздушного пространства;
- Динамическая адаптация горизонта прогнозирования в зависимости от плотности воздушного трафика и приоритетов задачи;
- Итог — обеспечение требуемого уровня автономности и безопасности БВС при сохранении эффективности основной миссии.

Функция предотвращения столкновений DAA (Detect-and-Avoid), реализованный на базе скрипта daa.py, представляет собой интеллектуальную подсистему автономной навигации БВС, функционирующую на бортовом вычислительном модуле (Companion Computer) с тесной интеграцией в контур автопилота (PX4, MAVSDK). Данный модуль обеспечивает вычисление, прогнозирование и реализацию избегающих манёвров в реальном времени на основе многоканального поступления данных от телеметрии, транспондеров ADS-B/UAT и других сенсорных источников.

DAA функционирует как замкнутый контур анализа воздушной обстановки, реализуя следующие основные этапы:

- Автоматизированный сбор, фильтрацию и нормализацию данных о текущем состоянии БВС (позиция, скорость, ориентация, режимы полёта);
- Приём и обработку информации о внешних воздушных объектах с помощью стандартных транспондеров;
- Формализацию зон потенциальной опасности и вычисление временных, пространственных и кинематических параметров конфликта (включая прогноз минимального расстояния и времени до сближения);
- Выработку и планирование маневра предотвращения конфликта с последующим возвратом на траекторию выполнения миссии;
- Интерактивную визуализацию зон риска и оповещение оператора в интерфейсе TFM-Pilot.

3.3.2.2. Ключевые параметры и конфигурация DAA

Работа DAA основывается на множестве настраиваемых параметров, определяющих конфигурацию защищаемых и маневренных зон, буферов безопасности, временных гистерезисов, пространственных ограничений и логики триггеров.

Данная настройка не доступна для изменения пилотом и поставляется уже преднастроенной со стороны ЛМТ.

К основным параметрам относятся:

- CONF_SAFETY_SZ: размеры эллиптической защищаемой зоны;
- CONF_BUFFER_SZ, CONF_MANEUR_SZ: параметры буферных и маневренных зон;
- WARN_TIME, T_D, T_MIN: интервалы реагирования и активации избегания;
- FAILSAFE_T_MAX, FAILSAFE_DIST_MAX: ограничения по времени и дальности при выполнении манёвра;

- Опциональные фильтры сглаживания и отбора целей, параметры фильтрации ложных и устаревших сообщений.

3.3.2.3. Функциональные подсистемы и алгоритмы DAA

Агрегация и предобработка данных

- Подсистема получает данные телеметрии (позиция, скорость, режим) по MAVSDK и сообщения о воздушной обстановке от транспондеров;
- Все входные данные преобразуются в единую систему координат (NED) относительно собственной позиции БВС;
- Реализуется первичная фильтрация шума и классификация потенциальных целей.

Детекция конфликтов и прогностический анализ

- Для каждого выявленного воздушного объекта производится прогноз траекторий на заданном горизонте;
- Алгоритмически вычисляется минимальная дистанция сближения, момент и точка потенциального конфликта с учётом кинематики и ограничений динамики платформы;

Вертикальные и горизонтальные компоненты конфликта анализируются отдельно, с учётом сценариев VTOL и FW.

3.4. Диагностика и ручное взаимодействие с TFM-Logic

Программная часть TFM-Logic запускается автоматически при подаче питания на бортовой компьютер и функционирует в фоновом режиме как неотъемлемая часть авионики БВС.

Для проведения диагностики, отладки или ручного взаимодействия с TFM-Logic, когда требуется более глубокий анализ его работы, может быть использован функционал TFM-Logic, который запускается из терминала командой: TFM-Logic

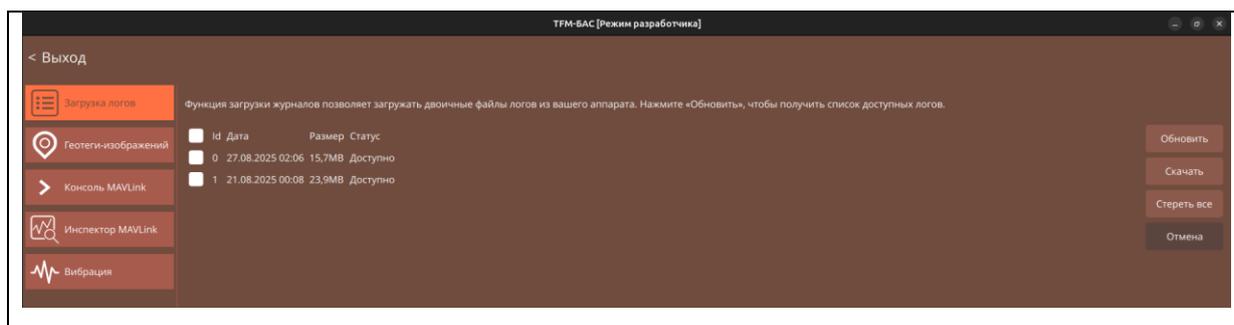
Эта утилита позволяет получить доступ к расширенным функциям диагностики состояния системы, управлению каналами связи и другим параметрам работы TFM-Logic, что полезно для специалистов при выявлении и устранении неисправностей или настройке.

4. Использование ПО «TFM-БАС»: Фаза 3 – Послеполётный анализ и обслуживание ПО (TFM-Logic, TFM-Pilot, общий процесс для «TFM-БАС»)

4.1. Запись телеметрии и состояния системы в лог

Каждый полет логируется встроенными средствами TFM-FMU и доступен для послеполетного анализа. В данном логи записаны все телеметрические данные, как на вход, так и на выход системы, что включает в себя и команды пилота во время полета. Кроме этого, логируются работа внутренних логических структур TFM-FMU из чего возможно дополнительно проанализировать корректность и оптимальность их работы, а также ввести корректировки в параметризацию системы.

Для того, чтобы скачать лог необходимо войти в меню “Инструменты Анализа” во вкладку “Загрузка логов” и нажать кнопку “Обновить”. В меню будут представлены актуальные записи логов для скачивания и анализа. Скачивание логов доступно только в инженерном режиме.



4.2. Обслуживание ПО

Программное обеспечение «TFM-БАС» и его компоненты (TFM-Pilot, TFM-Logic, TFM-FMU) регулярно обновляются для улучшения функциональности и безопасности. Обновления доступны в официальных репозиториях правообладателя ПО.

4.2.1. Обновление TFM-Pilot

Подготовка к обновлению:

- Создание резервной копии текущих настроек
- Обеспечение стабильного интернет-соединения

Процедура обновления:

- Загрузка новой версии TFM-Pilot.ApplImage с официального репозитория:
- Присвоение файлу прав на выполнение
- Запуск обновленного файла

4.2.2. Обновление TFM-Logic

Подготовка к обновлению:

- Создание резервной копии текущих настроек
- Обеспечение стабильного подключения к сети

Процедура обновления:

- Загрузка нового .deb пакета с официального репозитория:
- Установка одним из способов:
 - Через графический интерфейс (двойной клик)
 - Через терминал: `sudo apt install ./TFM-Logic.deb`

4.2.3. Обновление TFM-FMU (полетный контроллер)

Подготовка к обновлению:

- Обязательное создание резервной копии текущей прошивки

Процедура обновления:

- Клонирование обновленного репозитория через `git clone`
- Выполнение обновления одним из методов:
 - Через скрипт `rx_uploader.py` по USB
 - С помощью приложения TFM-Pilot
 - Через интерфейс ST-Link

Важные предупреждения:

- Не прерывать процесс обновления
- Убедиться в стабильности подключения
- При возникновении ошибок восстановить предыдущую версию прошивки

5. СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- БАС — Беспилотная Авиационная Система
- БВС — Беспилотное Воздушное Судно
- ПО — Программное Обеспечение
- НСУ — Наземная Станция Управления
- FMU — Flight Management Unit (полётный контроллер, интеллектуальное ядро автопилота)
- TFM-FMU — программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для интеллектуального управления полётом БВС

- TFM-Logic — программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для бортового управления и диагностики БВС
- TFM-Pilot — программная часть ПО «TFM-БАС», предназначенная для управления и визуализации состояния БВС
- VTOL — вертикальный взлёт и посадка (от англ. Vertical Take-Off and Landing)
- ROS2 — Robot Operating System 2 (вторая версия операционной системы для робототехники)
- MAVLink — Micro Air Vehicle Link (открытый протокол обмена данными для БВС)
- PX4 — открытая программная платформа для автопилотов БВС
- ADS-B — Automatic Dependent Surveillance–Broadcast (автоматическое зависимое наблюдение с рассылкой)
- UAT — Universal Access Transceiver (универсальный приёмо-передатчик)
- DAA — Detect and Avoid (обнаружение и предотвращение столкновений)
- GPS — Global Positioning System (глобальная система позиционирования)
- ГЛОНАСС — Глобальная навигационная спутниковая система
- ESC — Electronic Speed Controller (электронный регулятор скорости)
- BMS — Battery Management System (система управления батареями)
- AppImage — формат распространения приложений Linux для запуска без установки
- DroneCAN — стандартный протокол для взаимодействия электронных устройств на борту БВС
- PIC — Programmable Interface Controller (программируемый интерфейсный контроллер)