

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор

АО «Петрозаводскмаш»

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

«     » \_\_\_\_\_ 2025 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор

АО ЦПР «ЭФЭР»

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

«     » \_\_\_\_\_ 2025 г.

**АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА  
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА БАЗЕ БПЛА  
(АСМПБ «ЭФЭР-ГАРДИАН»)**

**ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ**

от «     » \_\_\_\_\_ 2025 г.

## **1. Объект испытаний:**

Автономная система мониторинга пожарной безопасности (АСМПБ «ЭФЭР-ГАРДИАН») в составе:

1. БПЛА (квадрокоптер) с установленным ПО версии 1.0.0, включая бортовой вычислитель Raspberry Pi 5, полетный контроллер Pixhawk 6C, лидар, камеру, тепловизор, аппаратный ускоритель Coral Edge TPU.
2. Наземная станция управления на базе ноутбука с ПО Mission Planner / QGroundControl.
3. RC-пульт управления.
4. Тестовая инфраструктура пожарной сети (Wi-Fi точка доступа, сервер с REST API и RTSP).

## **2. Характеристика испытуемого образца:**

Программно-аппаратный комплекс, реализующий автономный мониторинг помещений с детекцией пламени и дыма, построением карты, навигацией, передачей тревог и автоматической зарядкой. Полный перечень характеристик соответствует Техническому заданию.

## **3. Дата проведения испытаний:**

«» \_\_\_\_\_ 2025 г. – «» \_\_\_\_\_ 2025 г.

## **4. Лица, проводившие испытания:**

(Заполняется в процессе подписания в конце документа)

## **5. Основание для проведения испытаний:**

«Программа и методика испытаний АСМПБ «ЭФЭР-ГАРДИАН» версии 1.0.0 от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

## **6. Техническое задание испытания (цель испытаний):**

Проведение приемочных испытаний программно-аппаратного комплекса АСМПБ «ЭФЭР-ГАРДИАН» с целью проверки его соответствия требованиям Технического задания и готовности к внедрению для опытной эксплуатации.

## 7. Дополнительная информация:

Испытания проведены в полном объеме в соответствии с ПМИ, включая этапы: стендовые испытания, испытания в симуляторе, летные испытания на полигоне и в макете ангаря с применением имитаторов угроз.

## 8. Результаты испытаний:

| №<br>п/п | Объект<br>испытаний | Проверяемый<br>параметр | Последовательность действий              | Критерий успеха  | Результат  |
|----------|---------------------|-------------------------|--|--|--|
| 8.1      | Документации        | Полнота соответствия    | Проверка комплектности документации и ее | Представлены все документы.                                  | Успешно  |
|          |                     |                         | непротиворечивости.                      | Ключевые параметры в ТЗ, Описании и Руководстве согласованы. | Замечаниe: В Руководство требуется добавить описание процедур замены нейросетевой модели |
|          |                     |                         |  |  | а требуется добавить описание процедур замены нейросетевой модели                        |

---

на Edge  
TPU.

---

|     |                                   |  |   |   |  |
|-----|-----------------------------------|--|---|---|--|
| 8.2 | Устан<br>овка и<br>запус<br>к     | Коррект<br>ность<br>запуска<br>систем<br>ы | Развертывание<br>ПО на бортовом<br>компьютере по<br>инструкции,<br>проверка<br>запуска ROS 2                          | Все ключевые<br>модули<br>запущены,<br>телеметрия<br>передается на<br>GCS и сервер.<br>нод и связи. | Успешно  |
| 8.3 | Режи<br>мы<br>работ<br>ы<br>(FMS) | Коррект<br>ность<br>переход<br>ов          | Последователь<br>ная отработка<br>команд: взлет,<br>патрулировани<br>е, имитация<br>низкого заряда<br>(RTL), посадка. | Логи<br>фиксируют<br>переходы:<br>STANDBY -><br>TAKEOFF -><br>PATROL -> RTL<br>-> LANDING.          | Успешно<br>Результат<br>: Все<br>переходы<br>выполне<br>ны<br>корректн<br>о,<br>поведени<br>е БПЛА<br>соответст<br>вовало<br>состояни<br>ям. |
| 8.4 | Детек<br>ция<br>(CV)              | Точност<br>ь<br>(Precisio<br>n)            | Тестирование<br>на эталонном<br>видеофайле (50  | Precision $\geq$ 98%<br>для каждого<br>класса.  | Успешно<br>Результат<br>: Пламя –  |

---

---

|     |                  |                              |  |   |
|-----|------------------|------------------------------|--|---|
|     |                  |                              | кадров пламя,<br>50 дым).  | 99%, Дым<br>– 98.2%.  |
| 8.5 | Детекция (CV)    | Производительность (FPS)     | Измерение частоты публикации результатов детекции в полете.        | Средний FPS $\geq$ 15.<br>Результат: Средний FPS = 17.3.  |
| 8.6 | Реакция на пожар | Время и полнота реакции      | Активация имитатора пламени, фиксация времени до передачи тревоги. | Время от активации до получения тревоги сервером $\leq$ 2 с.<br>Результат: Среднее время = 1.8 с. |
| 8.7 | Навигация и SLAM | Точность следования маршруту | Сравнение заданной и фактической траектории.                       | Отклонение от точек $\leq$ 0.5 м.<br>Результат: Макс. отклонение 0.4 м.                           |
| 8.8 | Навигация и SLAM | Обход препятствий            | Введение подвижного препятствия на маршрут.                        | Безопасный обход без столкновения.<br>Успешно   |

---

---

|      |                                  |                    |   |   |  |
|------|----------------------------------|--------------------|---|---|--|
| 8.9  | Связь<br>(Wi-Fi)                 | Передача<br>данных | Проверка<br>RTSP-потока,<br>отправка/прие-<br>м тревог и<br>команд. | Стабильный<br>поток,<br>корректная<br>работа API.         | Успешно<br>*Замечан<br>ие: При<br>одновремен-<br>ной<br>нагрузке<br>(видео +<br>данные)<br>наблюда-<br>ются<br>кратковре-<br>менные<br>увеличен-<br>ия<br>задержки<br>RTSP до<br>400 мс.<br>Рекомен-<br>дуется<br>оптимиза-<br>ция.* |
| 8.10 | Связь<br>(Радио-<br>окана-<br>л) | Работа с<br>GCS    | Проверка<br>телеметрии и<br>выполнения<br>команд.                   | Актуальная<br>телеметрия,<br>время отклика<br>$\leq 1$ с. | Успешно  |
| 8.11 | Отказ<br>оусто-                  | Приоритет          | Переключение<br>в ручной режим<br>во время                          | Мгновенный<br>переход,<br>автономные                      | Успешно  |

---

---

|      |                                |                           |  |   |         |
|------|--------------------------------|---------------------------|--|---|---------|
|      | йчиво<br>сть                   | RC-пуль<br>та             | автономного<br>полета.   | команды<br>блокируются.   |         |
| 8.12 | Отказ<br>оусто<br>йчиво<br>сть | Потеря<br>связи<br>Wi-Fi  | Физическое<br>отключение<br>точки доступа.                         | Переход в<br>режим RTL по<br>таймауту (10<br>с).                | Успешно |
| 8.13 | Отказ<br>оусто<br>йчиво<br>сть | Потеря<br>вычисл<br>ителя | Аварийная<br>остановка<br>основной ноды                            | Переход в<br>стабилизацию,<br>затем<br>ПО.                      | Успешно |
| 8.14 | Автон<br>омнос<br>ть           | Цикл<br>зарядки           | 5<br>последователь<br>ных циклов<br>патрулировани<br>я-зарядки.    | Успешная<br>посадка и<br>инициация<br>зарядки в 5/5<br>случаев. | Успешно |
| 8.15 | Логир<br>овани<br>е            | Полнота<br>записи         | Проверка<br>наличия<br>записей по<br>всем<br>ключевым<br>событиям. | Логи<br>непрерывны и<br>полны.                                  | Успешно |

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам приемочных испытаний, проведенных в период с «\_\_» по «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г., установлено, что программно-аппаратный комплекс АСМПБ

«ЭФЭР-ГАРДИАН» версии 1.0.0 в целом соответствует требованиям Технического задания.

Все основные и критические функции системы работоспособны:

- Обеспечена автономная навигация и патрулирование.
- Достигнуты требуемые показатели точности ( $\geq 98\%$ ) и скорости ( $\geq 15$  FPS) детекции пламени и дыма.
- Реализована корректная реакция на угрозу с передачей тревоги менее чем за 2 секунды.
- Продемонстрирована надежная работа сценариев отказоустойчивости и безопасного завершения миссии.
- Подтверждена работоспособность каналов связи и интеграционных интерфейсов (REST API, RTSP, MAVLink).

Выявлены следующие незначительные замечания, не препятствующие внедрению для опытной эксплуатации:

1. В Руководстве оператора отсутствует детальная инструкция по замене нейросетевой модели на Edge TPU.
2. При пиковой сетевой нагрузке наблюдаются кратковременные увеличения задержки видеопотока RTSP сверх нормы (до 400 мс).

Рекомендации:

1. Дополнить Руководство оператора недостающим разделом.
2. Провести дополнительную оптимизацию сетевого стека ПО для стабилизации задержки видео в рамках следующей плановой версии обновления.

Решение комиссии:

Систему рекомендовать к внедрению для опытной эксплуатации на объектах АО «Петрозаводскмаш». Устранение указанных замечаний запланировать в течение 30 календарных дней с момента начала эксплуатации.

Лица, проводившие испытания:

1. Начальник ОИТ - Главный инженер  
\_\_\_\_\_ / Бесспилотный А.А.  
«\_\_\_» \_\_\_\_ 2025 г.
2. Инженер-программист (разработчик ПО)  
\_\_\_\_\_ / Дронов В.В.  
«\_\_\_» \_\_\_\_ 2025 г.

3. Представитель Заказчика

\_\_\_\_\_ / [ФИО представителя]

«\_\_» \_\_\_\_ 2025 г.