

Программно-аппаратный комплекс бесперебойной связи и навигации для роевых БАС в условиях Арктической зоны (SWARMLINK ARCTIC)

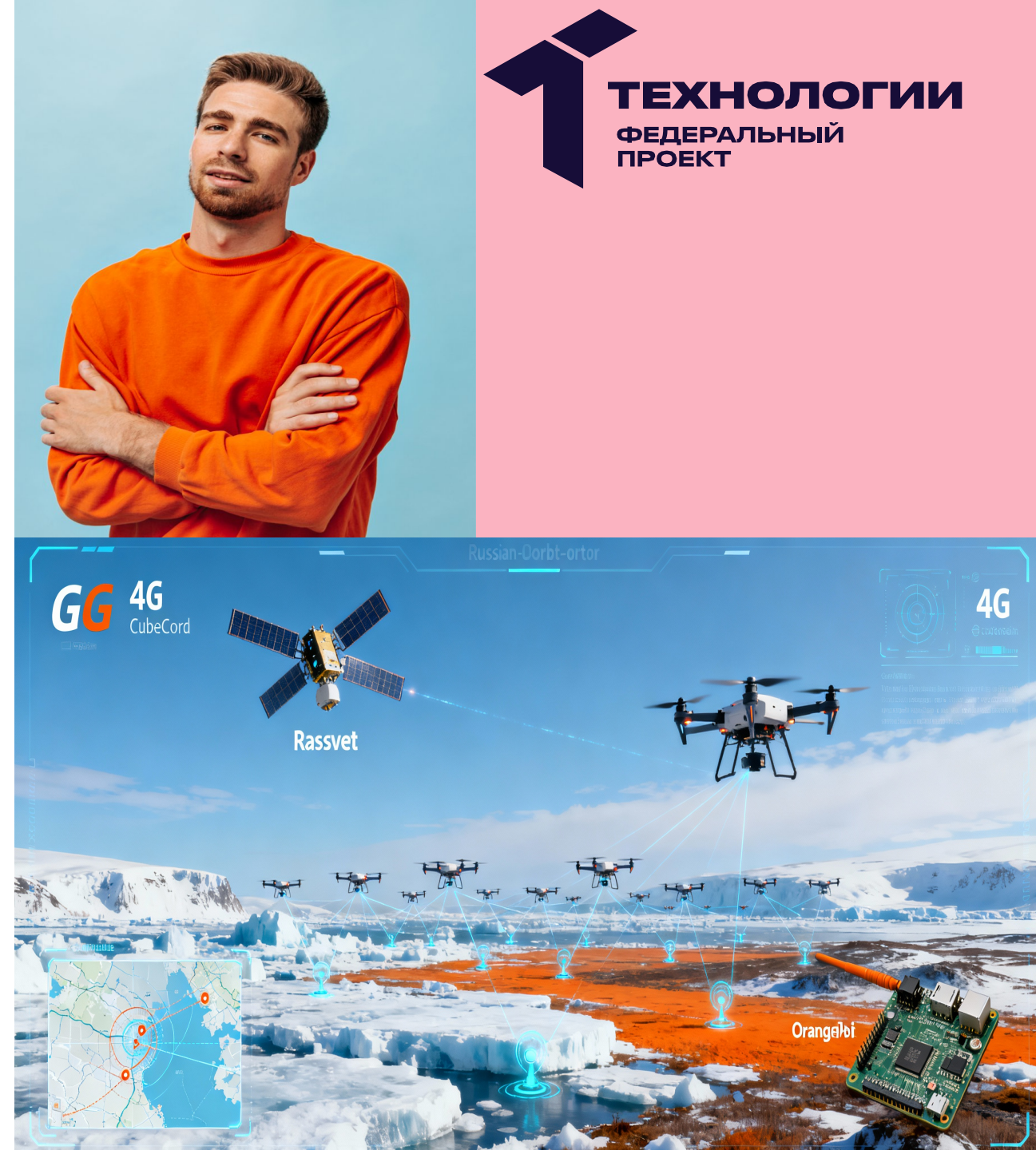
Рожин Матвей

Магистрант направления

09.04.02 ИСИТ

Интеллектуальный анализ

геопространственных данных

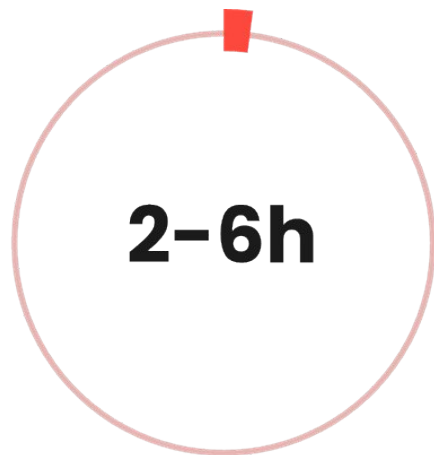


Проблема

15–25%

Потеря связи

Процент полётов с критической потерей канала управления.



Время обнаружения

Вместо 10 минут при стабильной связи

3–7%

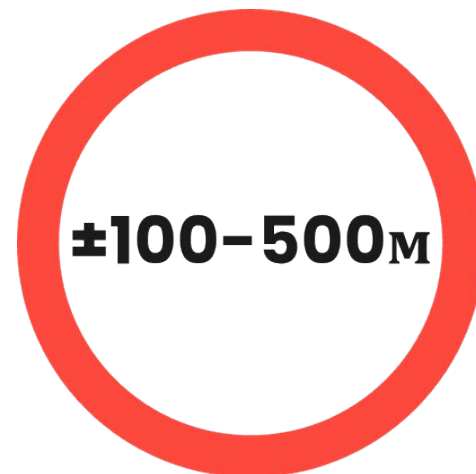
Безвозвратная потеря

Процент дронов, теряющихся из-за сбоев навигации/связи.

500К – 3М

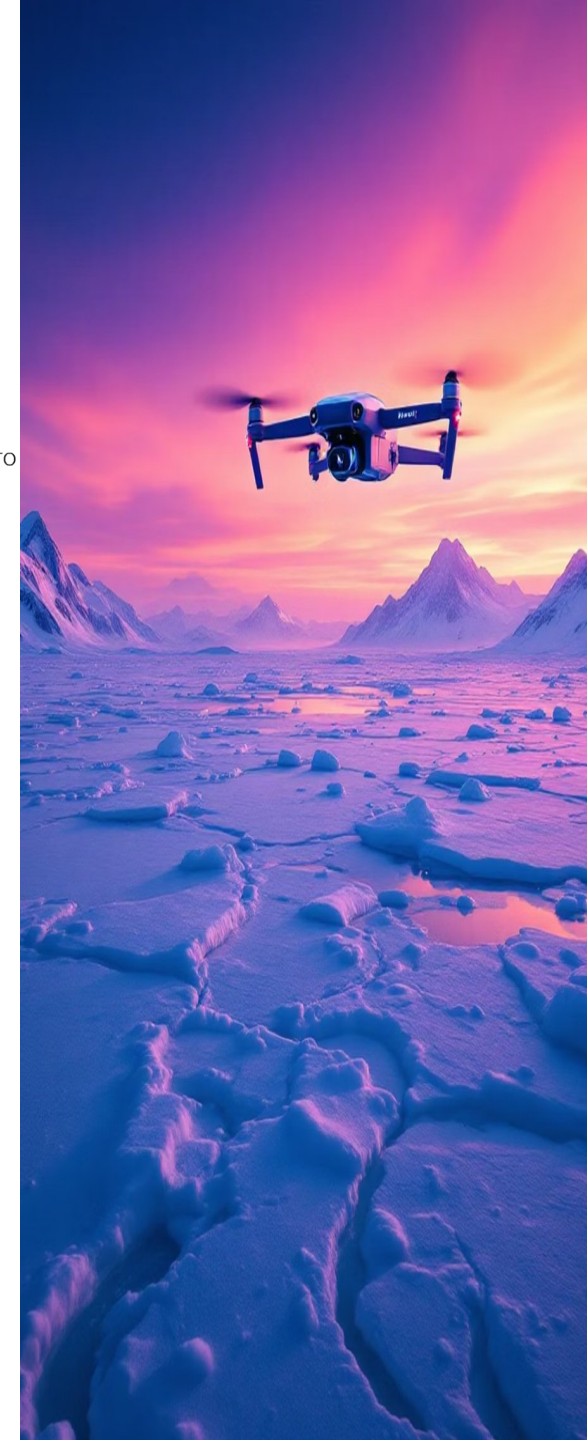
Стоимость потерь

Рублей — прямая стоимость одного потерянного беспилотника.



Ошибка навигации

Критичное отклонение без надежной коррекции GPS/ГЛОНАСС



🌐 Вызовы Арктики: непреодолимые препятствия для традиционных БАС



Отсутствие GPS/Сетевого Покрытия

В удаленных районах Арктики спутниковая навигация (GPS/ГЛОНАСС) часто недоступна или ненадежна из-за ограниченной видимости спутников, интерференции и географических особенностей. Отсутствие сотовой связи и других сетевых инфраструктур делает невозможным централизованное управление и передачу данных, что критически затрудняет работу БАС.



Экстремальные Температуры до -40°C

Низкие температуры, достигающие -40°C и ниже, оказывают разрушительное воздействие на электронные компоненты, батареи и механические части БАС. Стандартные системы быстро теряют надежность, снижается емкость аккумуляторов, и увеличивается риск отказа оборудования, что приводит к сокращению времени полета и потере данных.



Требование к Автономности Роя

В условиях отсутствия связи с оператором и центральным управлением, роевые группы БАС должны функционировать полностью автономно. Это требует сложных алгоритмов децентрализованного принятия решений, координации задач и адаптации к изменяющимся условиям без вмешательства человека, что является значительным вызовом для существующих технологий.

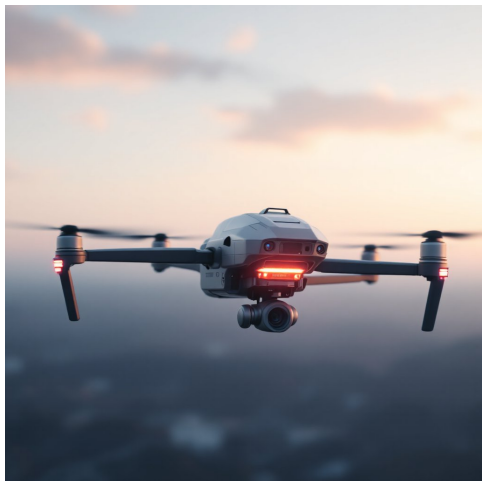


Магнитные Аномалии и Искажения Компаса

Геомагнитные аномалии, характерные для высоких широт, вызывают существенные искажения показаний магнитных компасов БАС. Это приводит к ошибкам в навигации и ориентации, достигая отклонений до $\pm 30^{\circ}$, что делает традиционные методы навигации по компасу ненадежными и потенциально опасными для выполнения миссий.



SwarmLink Arctic — надёжность и эффективность



✓ Инновационная архитектура для арктических операций

- Модель Leader-Follower с автоматическим переключением
- Гибридная Связь: TBS CrossFire и Meshtastic
- Навигация: SLAM + INS + Magnetic Fingerprinting
- Полная автономия в широком диапазоне температур
- Масштабируемость роя: от 3 до 150+ дронов

Ключевая ценность



Навигация и связь

- **Дальность:** 40+ км (TBS) / 5–40 км (Mesh)
- **Точность:** $\pm 0.1\text{--}0.5$ м (SLAM) / $\pm 20\text{--}30$ м (Magnetic Fingerprinting)
- **Восстановление:** 3–7 сек (INS/EKF) / <10 сек (автопереключение)
- **Пропускная способность:** 0.19 kbps (Mesh) / 150 kbps (TBS)

Операционные показатели

- **Время полета:** 2–2.5 ч (Leader) / 2 ч (Followers)
- **Размер роя:** 3–8 основных + 50–100 периферийных дронов
- **ROI:** 6–12 месяцев

Эти показатели демонстрируют высокую эффективность и надежность нашего решения в самых суровых условиях.

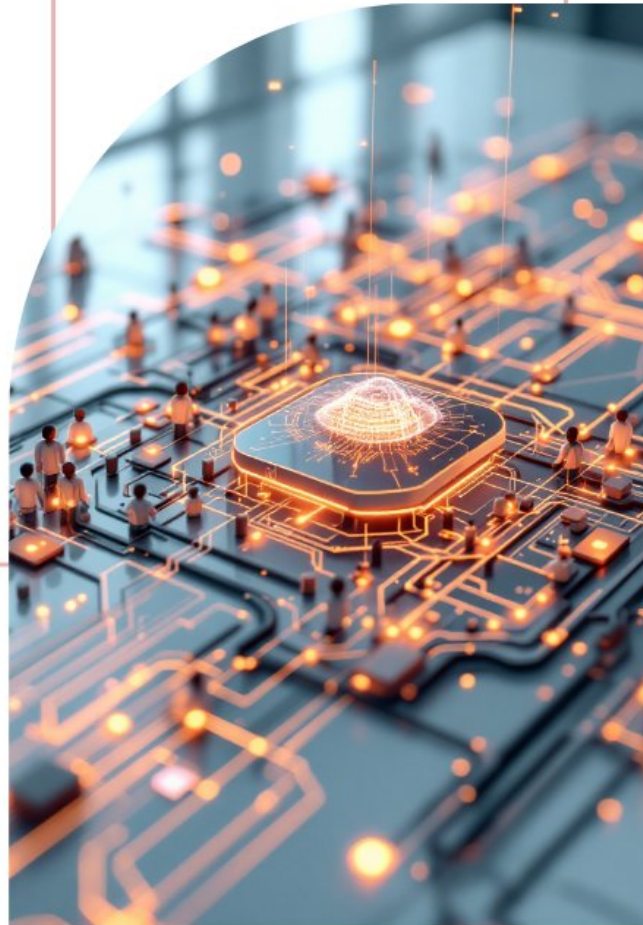
Секретный соус - технологические инновации

Гибридная Связь

Mesh, 900МГц,
5G/4G,
Wi-Fi Direct
Спутник (по
готовности
инфраструктуры)

Шифрование

FHSS и SAL
Encryption



Навигация

3 слоя:
ORB-SLAM3, INS,
Магнитная

Облачная Платформа

SaaS-управление и
мониторинг парка.

Анализ конкурентов

Параметр	SwarmLink Arctic	3D Link	Skyhopper PRO	Picoradio OEMpDDL2450	J11
Производитель, страна	Стартап, Россия	Geoscan, Россия	Mobilicom, Израиль	Airborne Innovations, Канада	Redess, Китай
Дальность связи [км]	до 80 (адаптивно, mesh+LTE)	20–60	5	н/д*	10–20
Скорость [Мбит/сек]	10–100 (динамическое распределение каналов)	0.023–64.9	1.6–6	0.78–28	1.5–6
Задержка [мс]	<10 (адаптивный приоритет управления)	1–20	25	н/д*	15–30
Тип связи	Гибридная (5G/4G, Wi-Fi, Mesh 900 МГц, BT, SAT)	Wi-Fi	Wi-Fi / ISM	Wi-Fi	Wi-Fi
Габариты блока [мм]	~70×50×25	77x45x25	74x54x26	40x40x10 (без корпуса)	76x48x20
Масса блока [грамм]	≤90	89	105	17.6 (без корпуса)	88
Информационные интерфейсы	Ethernet, RS232, CAN, USB, Wi-Fi, BT, MESH, LTE/5G	Ethernet, RS232, CAN, USB	Ethernet, RS232, USB (опция)	Ethernet, RS232/UART	HDMI, Ethernet, UART

Размер и динамика рынка

Метрика	Год 2	Год 3	Год 4	Год 5
Продажи (шт)	250	500	1000	1500
Итого Доход (млн)	75	150	300	450
EBITDA (млн)	17.5	45	110	180
Net Profit (млн)	13.5	35	85	140
Net Margin	18%	23%	28%	31%

Каналы продвижения и сбыта



- Продажи ПАК для производителей дронов
- Техническое обслуживание ПАК
- Интеграция ПАК в дрон клиента

План выхода на рынок

Этап 1. Прототипирование (0–12 месяцев)

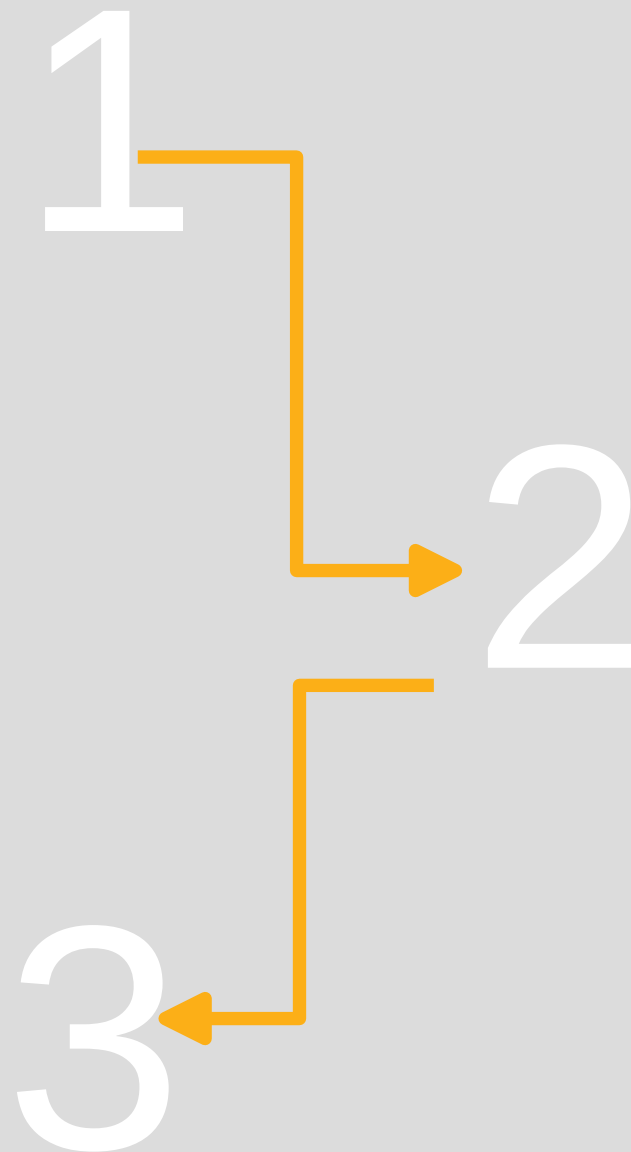
Разработка прототипа радиомодуля и ПО роевого взаимодействия.
Тестирование в климатической камере и на полигоне.
Демонстрация на выставках

Этап 2. Пилотные внедрения (год 2)

Совместные испытания с потенциальными заказчиками
Разработка адаптированных решений для разных типов БАС.
Получение сертификатов РЭ и устойчивости к климатическим воздействиям.

Этап 3. Коммерциализация и масштабирование (год 3+)

Организация малосерийного производства
Создание сервисного центра для сопровождения.
Переход на другие виды беспилотных устройств

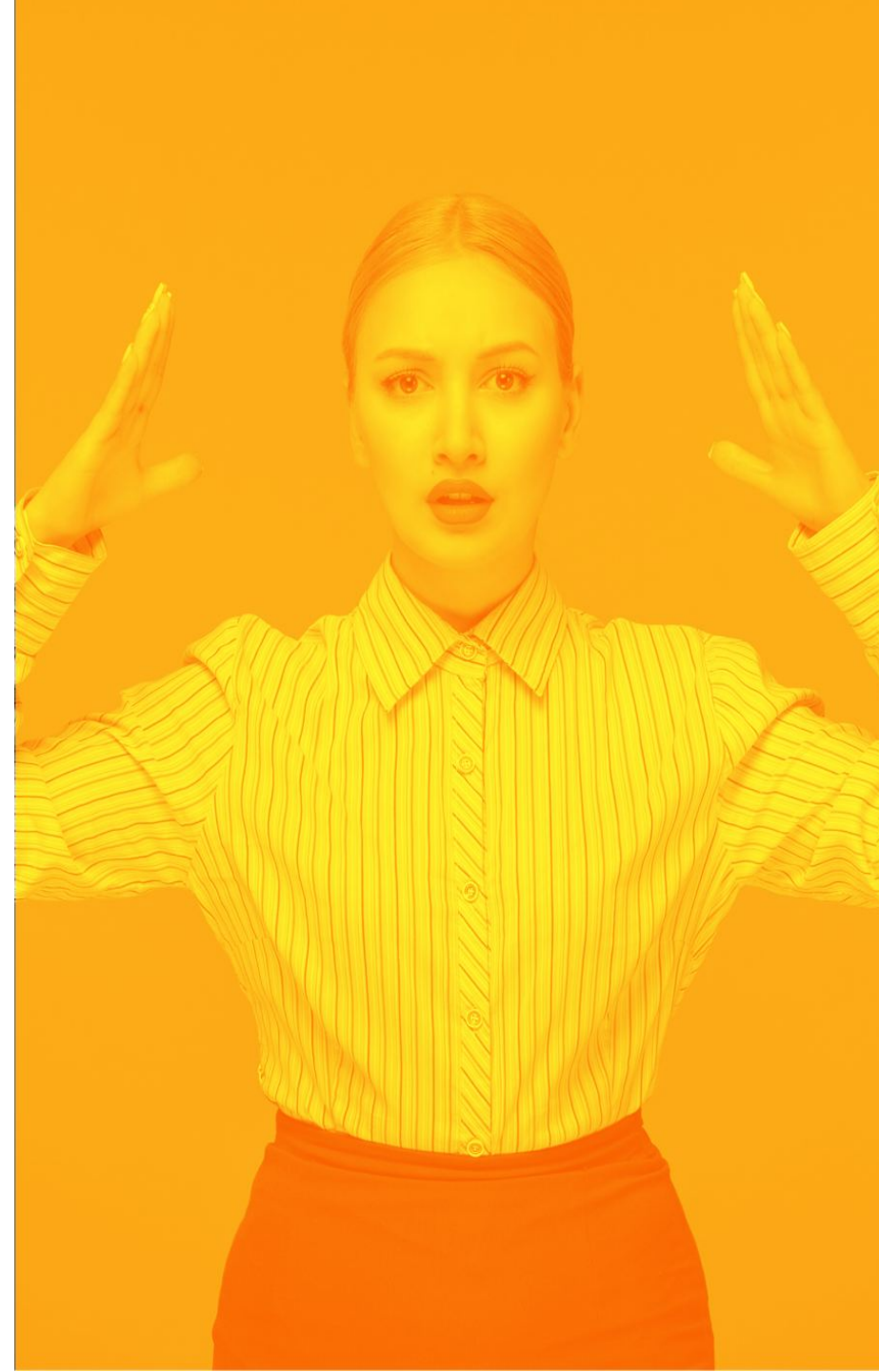


Этапы разработки и Производства



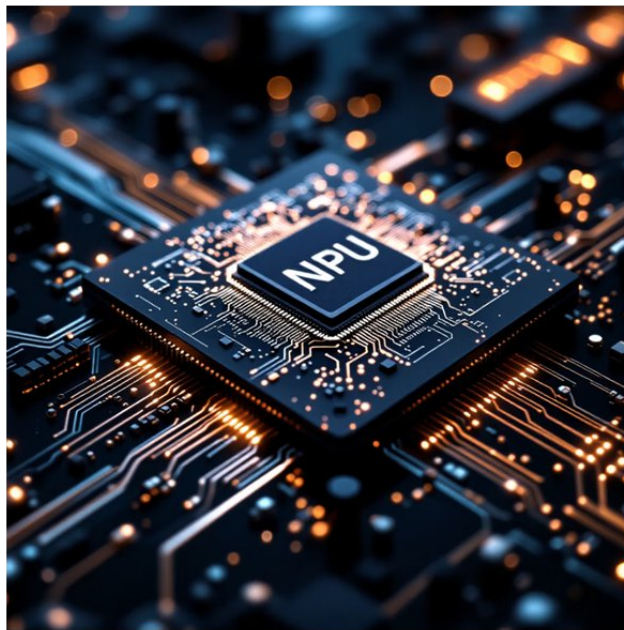
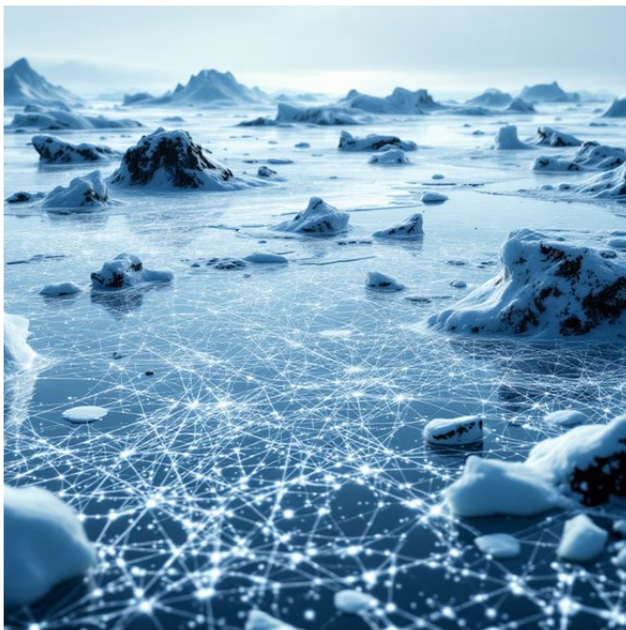
Привлечене финансов

Инструмент	Суть поддержки	Особенности
Фонд содействия инновациям (программы «Старт», «Умник», «Развитие»)	Гранты 0,5–25 млн ₽ на НИОКР, прототип и пилоты	Безвозвратное финансирование, требует отчётность и готовый НИОКР
Минпромторг РФ (программа импортозамещения, «Цифровая промышленность»)	Субсидии и льготные кредиты для опытного производства	Подходит при наличии юрлица и партнёров из ОПК
Российский фонд развития ИТ (РФРИТ)	Софт/комплексы для промышленности, гранты до 500 млн ₽	Требует TRL ≥ 4 и бизнес-модель
Сколково / НТИ	Гранты, акселерация, экспертиза, сеть партнёров	Полезно для позиционирования и пилотных внедрений
Минобрнауки / программы мегагрантов	Научные и исследовательские коллективы	Подходит для вузов и НИИ-партнёров



Научные решения и инновации

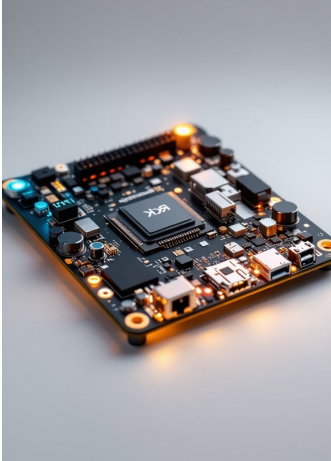
Q-Learning адаптирует канал связи за <1 с по истории полётов. Четырёхслойная навигация обеспечивает избыточность для экстремальных условий: SLAM при видимости, INS при потере видеопотока, магнитная коррекция в полосах аномалий, ZALA для наземной привязки. EKF объединяет данные, давая точность $\pm 5\text{--}10$ м в Арктике вместо сотен метров.



Интеграция всех слоёв связи и навигации на Orange Pi 5 Pro



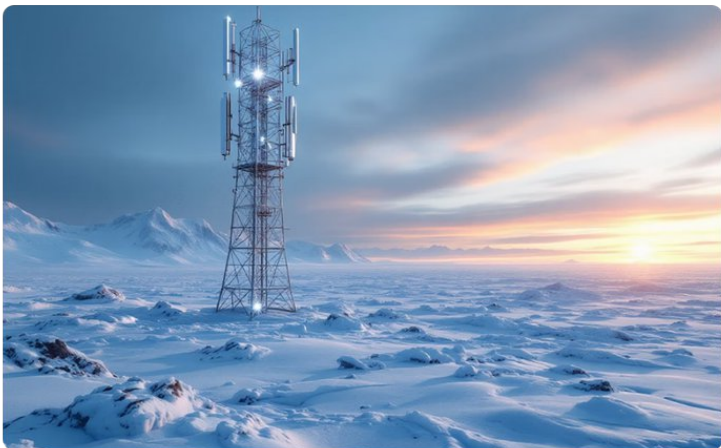
Аппаратная платформа: Rockchip RK3588S (4×A76 + 4×A55), GPU Mali-G610 и NPU 6–20 TOPS. Память до 16 ГБ LPDDR5, M.2 NVMe до 1 ТБ для журналирования полётов и карт SLAM. Интерфейсы: 2× MIPI CSI (RGB + тепловизор), I2C/SPI для IMU/барометра/магнетометра, 4× USB3.0 для модемов и периферии, Wi-Fi 6, 2.5G Ethernet, 40-pin GPIO.



Дизайн рассчитан на эксплуатацию в диапазоне температур $-50^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$ и интеграцию с российскими каналами ZALA и Рассвет.

Итоговая архитектура SWARMLINK ARCTIC

Комплекс интегрирует связь, навигацию и облако: гибридные каналы (6 активных), 4-уровневая навигация (SLAM+INS+Geomag+ZALA), SaaS-платформа для управления роём. Orange Pi 5 Pro выступает как узел объединения всех модулей и модемов.



Гибридные каналы

5G/4G/900MHz/Wi-Fi/Марафон/Рассвет — автоматический выбор и резервирование.



Облачная платформа

SaaS управление роями, REST API, WebSocket-телеметрия, аналитика и маршрутизация.



Базовая станция + облако

Полный конвейер: от полевой телеметрии до централизованного управления и отчётности.

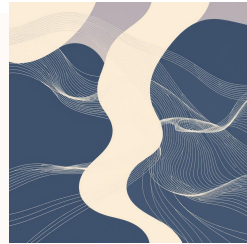
Ключевые гарантии: связь без SPOF, навигация без GPS, соответствие российской инфраструктуре.

Архитектура SwarmLink Arctic: 3 интегрированных столпа



SLAM + INS Fusion

- ORB-SLAM3 с GPU-ускорением для точной визуальной навигации.
- EKF 9-осевой IMU для расширенного Калмановского фильтра.
- Dead Reckoning обеспечивает 3–7 секунд автономии при потере визуальных данных.



Magnetic Fingerprinting

- TensorFlow Lite CNN (2 МБ, INT8) для компактной и быстрой обработки.
- Создание уникальной магнитной подписи для каждой точки местности.
- Точность $\pm 20\text{--}30$ м без GPS в самых сложных условиях Арктики.

Geomagnetic ML Correction

- Использование модели IGRF-13 для коррекции локальных магнитных аномалий.
- Коррекция компаса с $\pm 20\text{--}30^\circ$ до $\pm 2\text{--}5^\circ$ для надежной ориентации.

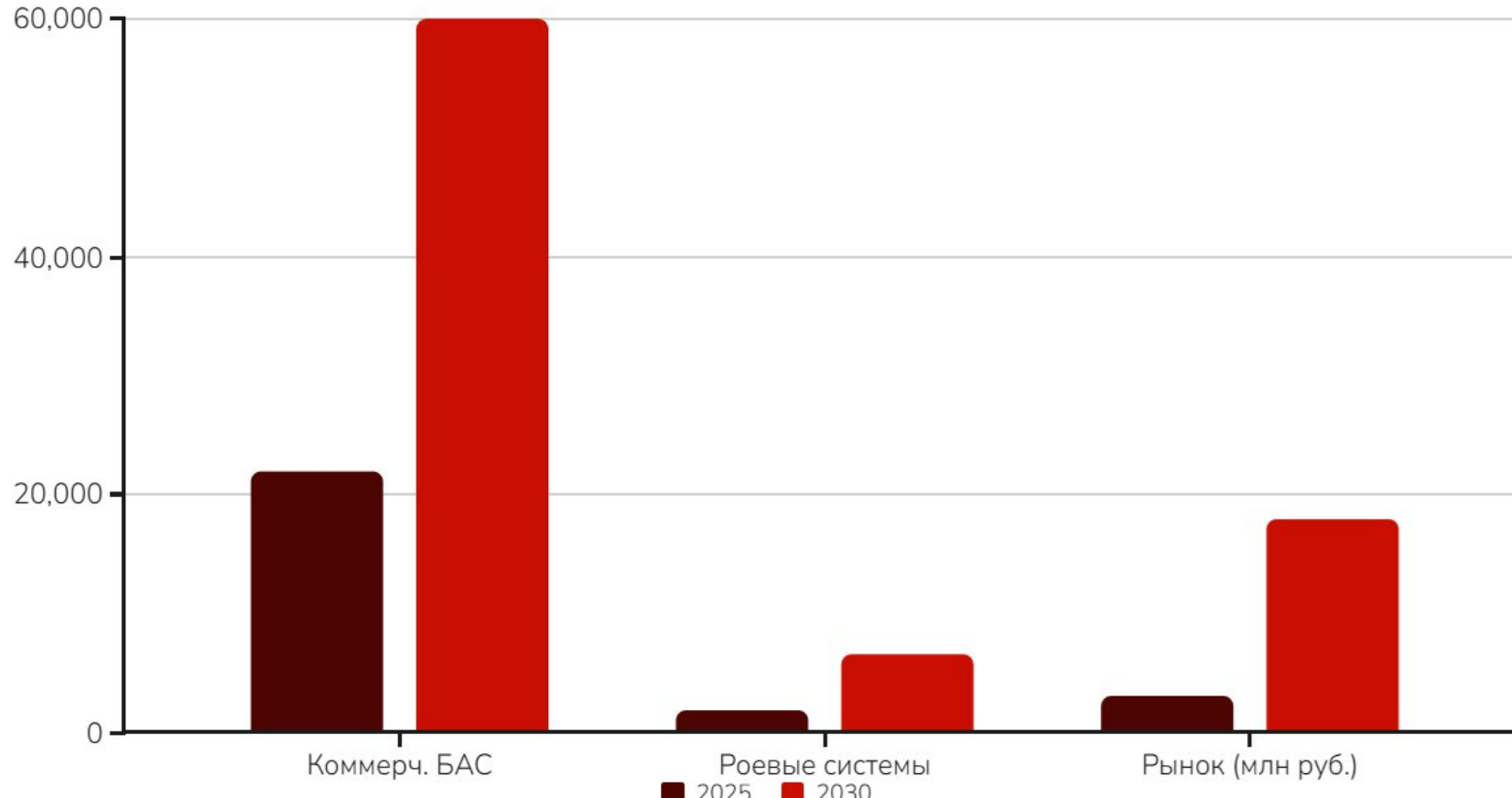


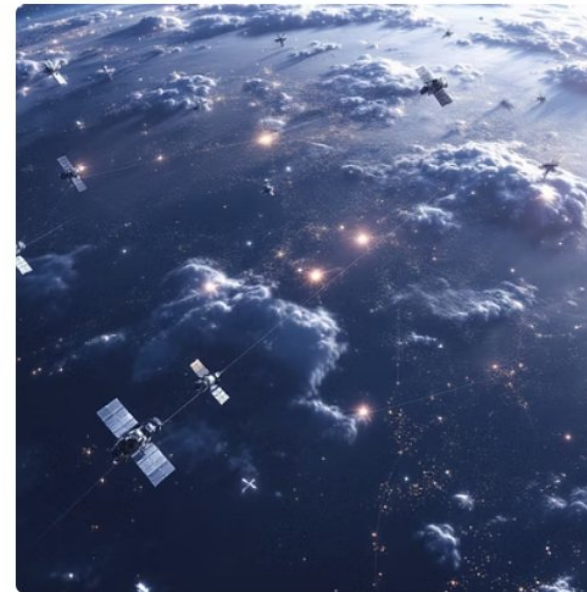
FHSS + SAL Encryption

- 50 каналов в диапазоне 868–915 МГц с 2.5 прыжками/сек для помехоустойчивости.
- SAL-128 шифрование, потребляющее на 75% меньше энергии, чем AES.

Рынок и возможности

Прогноз рынка систем связи и навигации для роевых БАС: ≈ 18 млрд руб. к 2030 г. Целевые сегменты: МЧС (лесопожары), Россети (ЛЭП в Арктике), Газпром (трубопроводы), производители БАС (ОЕМ), Роскосмос и НИИ. Ожидаемый рост числа коммерческих БАС в РФ до 50–70 тысяч к 2030 г.





±5–10m

Точность

Позиция в Арктике при
объединённой фильтрации и
ZALA.

2.5–3.5M

Цена комплекта

Оценка стоимости комплекта на
5 БАС с оборудованием и
модемами.

18B

Рынок к 2030

Руб.—предполагаемый объём
рынка связи и навигации для
роёв БАС.

6–12m

ROI

Окупаемость при успешных
пилотах и первых коммерческих
контрактах.

–50°C

Рабочая температура

Гарантированная эксплуатация в
экстремальных условиях
Арктики.

3

Канала связи

Гибридная мультиканальная
архитектура

Прогноз P&L (Profit & Loss) на 5 лет

Глобальный рынок дронов для экстренных служб

- **Рынок в 2024 году:** USD 3.59 млрд
- **Прогноз рост:** CAGR 13.5% до 2032 года

Географическое распределение:

- Азиатско-Тихоокеанский регион: 42%
- Европа: 28%
- Северная Америка: 22%
- Остальной мир (включая Россию): 8%

Российский рынок дронов

- **Текущий размер (2024):** ≈100 млрд рублей
- **Emergency Response + Inspection:** ≈5-8 млрд рублей (оценка)
- **Прогноз роста (2025-2033):** CAGR: 13.3%, до 300 млрд рублей к 2033 году

Арктический регион: специфичный рынок

- **Факторы роста:** Расширение морских маршрутов, инфраструктурные проекты, ЧС, климатические исследования.
- **Потенциальный рынок к 2030:** ≈500-1,000 млн рублей в год.

Команда



Рожин Матвей
лидер команды



Репняков Лев
программист



Рябой Юрий
аналитик по
стратегическому развитию